

马美娟, 陈小新, 张云霞, 等. 分期播种冬小麦农田小气候特征及其生育状况分析[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(3): 613-621.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2021.03.009

分期播种冬小麦农田小气候特征及其生育状况分析

马美娟¹, 陈小新¹, 张云霞¹, 郭倩¹, 孙民¹, 路漫漫²

(1. 商丘市气象局, 河南 商丘 476000; 2. 邢台市气象局, 河北 邢台 054000)

摘要: 为研究不同播期冬小麦农田小气候特征及其生育状况, 于2019–2020年在商丘国家基准气候站进行冬小麦分期播种试验, 并通过方差分析、相关性分析等对试验结果进行比较。结果表明: 早播 10 d (E10)、晚播 10 d (L10) 与正常播期 (CK) 冠层内温度差别不明显, 4 月上旬晚播 20 d (L20) 冠层内温度高于 CK, 5 月上旬 L20 白天冠层内温度低于 CK。4 月上旬 CK 冠层内相对湿度高于 E10、L20、L10 处理, 5 月上旬 E10、L10 处理冠层内平均相对湿度低于 CK, L20 处理高于 CK。不同播期冬小麦生育进程不同, 出苗期随着播期的推迟而推迟, 越冬后生育期逐渐趋于一致。随着播期的推迟, 冬前积温呈递减趋势, 株高逐渐降低。播期越晚, 小穗数越少, L10、L20 处理与 CK 的差异极显著; L10 处理的千粒质量最大, CK 次之, E10 处理的千粒质量最小, 但处理间差异不显著; CK 的产量最大, E10 处理次之, L10 处理的产量最小, 但处理间差异不显著。

关键词: 冬小麦; 农田小气候; 不同播期; 产量构成因素

中图分类号: S521.1⁺10.47

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2021)03-0613-09

Analysis on field microclimate characteristics and growth of winter wheat under different sowing dates

MA Mei-juan¹, CHEN Xiao-xin¹, ZHANG Yun-xia¹, GUO Qian¹, SUN Min¹, LU Man-man²

(1. Shangqiu Meteorological Bureau, Shangqiu 476000, China; 2. Xingtai Meteorological Bureau, Xingtai 054000, China)

Abstract: To study the microclimate characteristics in the field and the growth condition of wheat with different sowing dates, sowing experiments at different stages were conducted at Shangqiu National Standard Climatic Station in 2019–2020. The experiment results were compared through variance analysis and correlation analysis. The results showed that, difference of canopy temperatures under treatments of sowing date for ten days earlier (E10), sowing date for ten days later (L10) and normal sowing date (CK) were not obvious. The canopy temperature of sowing date for 20 d later (L20) in early April was higher than that of CK, the daytime canopy temperature of L20 in early May was lower than that of CK. The relative humidity in the canopy of CK treatment was higher than that of E10, L20 and L10 treatments in early April. The average relative humidity in the canopy of E10 and L10 treatments was lower than CK in early May, while the datum of L20 treatment was higher than that of CK. Winter wheats sowed at different dates were different in development stages before winter. The emergence date tended to postpone as the sowing date delayed, and the sowing dates of winter wheat tended to be consistent after wintering. With the delay of sowing date, the accumulated temperature before winter showed a decreasing trend, and the plant height decreased gradually. The later the sowing date, the fewer the spikelets, and the difference between

L10, L20 treatments and CK were extremely significant. The thousand-grain weight of L10 treatment was the highest, followed by CK treatment, and the thousand-grain weight of E10 treatment was the lowest. The yield of CK treatment was the largest, followed by E10 treatment, while the yield of L10 treatment was the small-

收稿日期: 2020-11-03

基金项目: 中国气象局/河南省农业气象保障与应用技术项目 (AMF202005); 商丘市气象局气象科学技术研究项目 (SQ201905)

作者简介: 马美娟 (1994–), 女, 河南商丘人, 硕士, 从事农业气象研究。 (E-mail) 374802336@qq.com

lest, but there was no significant difference between different treatments.

Key words: winter wheat; farmland microclimate; different sowing dates; constitutional factors of yield

小麦是世界上种植最广泛的作物之一,也是中国重要的粮食作物之一。黄淮冬麦区是中国最大的小麦产区,约占全国小麦总产量的 65%^[1],是中国优质小麦生产和粮食安全的重要基地。农业生产与气象条件密切相关,特别是受农田小气候的影响,农田小气候是以作物为下垫面的特殊小气候,受外部气候环境和作物自身活动的共同影响^[2]。适宜的小气候条件,有利于作物高产、稳产,反之则会抑制作物生长发育,滋生病虫害最终造成减产^[3]。研究结果表明种植方式、施肥、灌溉方式等均会对农田小气候产生影响^[4-7]。王兴亚等^[7]发现沟播小麦田间的空气温度较平作低,相对湿度较平作高。雷钧杰等^[8]分析了不同施氮量对冬小麦群体内部光、温变化的影响。余卫东等^[9]发现灌溉可以提高作物冠层的最低气温。张娜等^[10]探究了滴灌量与麦田小气候特征和产量之间的关系。

小麦的生产受到许多因素的制约,许多学者对气候条件与小麦生育期、产量之间的关系进行了研究分析^[11-13]。成林等^[14]研究了不同生育期气候变化对河南省冬小麦生长和产量的影响。檀艳静^[15]发现不同生育期相对气象产量的关键影响因子不同。李巧云等^[16]研究结果表明不同的冬前积温导致冬小麦发育进程不同。除气象条件外,水分胁迫、品种、土壤肥力和播期^[17-19]等,都对小麦生产产生影响。调整播种日期可以改变作物生育期内的气象条件,可作为一种适应气候变化的方法^[20]。学者对分期播种冬小麦进行了大量试验研究^[21-23]。Sokoto 等^[24]研究了播期和品种对小麦产量构成因素的影响。Rezaei 等^[25]探究了播期和品种对小麦物候的影响。但针对不同播期冬小麦小气候特征和生育状况的研究较少。本研究对冬小麦进行分期播种试验,分析不同播期冬小麦小气候特征、株高、生育期及产量因素的差异,以期为农田管理、农业气象灾害监测和评估等提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

于 2019 年 10 月–2020 年 5 月在河南省商丘市的商丘国家基准气候站内进行田间分期播种试验,试验地位于北纬 34°26′14″,东经 115°32′07″,属暖温带半

湿润大陆性季风气候,四季分明,日照充足,雨热同期。年平均气温(常年值)14.3℃,年平均降水量 751 mm,年日照时数 2 060.3 h,无霜期 208 d。该地年降水量季节分配不均,夏季降雨最多,约占全年降水量的 54%;春季和秋季降水量分别占年降水量的 21%和 19%;冬季降水量最少,约占年降水量的 6%。

1.2 试验设计

试验品种为郑麦 366,属强筋优质小麦。试验采取分期播种方案,共 4 个播期。以多年来冬小麦平均播期 10 月 11 日为对照(记作 CK),每个播期间隔 10 d,早播日期为 10 月 1 日(记作 E10),晚播日期分别为 10 月 21 日(记作 L10)和 10 月 31 日(记作 L20)。每个播期重复 4 次,行距 20 cm,小区面积为 20 m²,每小区播种量 380 g,各小区间留 0.5 m 保护间隔。前茬为玉米,机收后秸秆留在田间,播种方式为南北条播,小区排列方式采用标准拉丁方设计。试验地土壤类型为沙壤土,田间管理措施与当地常规管理措施一致,保证冬小麦不受水分因素和病虫害影响。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 生长指标测定 按照《农业气象观测规范》^[26]观测 4 个播期冬小麦从播种到成熟的各个生育期,同时进行株高等生长量的测定。测定株高时,每个小区连续测定 10 株,取平均值。

1.3.2 气象要素观测 冬小麦拔节后(3 月 25 日),在各小区安装 HOBO 温湿度记录仪,测定冠层内 25 cm 高度的温度、湿度,每隔 10 min 记录 1 次。其他常规气象要素日照时数、气温、降水量等,由商丘国家基准气候站获得,与试验地距离小于 50 m。

1.3.3 产量因素测定 在冬小麦成熟期进行产量因素测定。每小区连续取 20 穗,数出小穗数和不孕小穗数,求平均值;将样本脱粒,数其总粒数,求出平均穗粒数;小麦籽粒晾晒风干后,称其千粒质量,求平均值。

1.4 数据分析

运用 Python 进行数据处理并制图。通过 ANOVA 对不同播期的冬小麦生长量和产量要素进行统计分析,经过方差齐次性检验后,采用 LSD 法对 F 测验显著因子进行多重比较;采用皮尔逊相关分析法进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 冬小麦生长季内农田气象条件分析

图1为试验期间(2019年10月1日-2020年5月25日)农田气象要素逐日变化过程。日平均气温与日平均5 cm地温变化趋势一致,5 cm地温平均值高于气温。E10处理生长季内田间平均气温为9.7℃,随着播期推迟,田间平均气温逐渐减少,L20处理田间平均气温为8.9℃。4个播期的5 cm地温变化趋势与气温一

致,E10处理最大,L20处理最小。E10、CK、L10、L20处理生长季内的总降水量分别为306.1 mm、245.7 mm、242.6 mm和242.3 mm,越冬(1月8日)前降水量分别为144.7 mm、84.3 mm、81.2 mm和80.9 mm,较常年同期均偏多,冬小麦安全越冬;3月4个播期冬小麦陆续进入拔节期,春季降水量127.3 mm,与常年同期相比持平略增,为冬小麦生长提供了充足的水分。E10、CK、L10、L20处理生长季内的总日照时数分别为1 256.7 h、1 220.3 h、1 175.0 h和1 128.2 h。

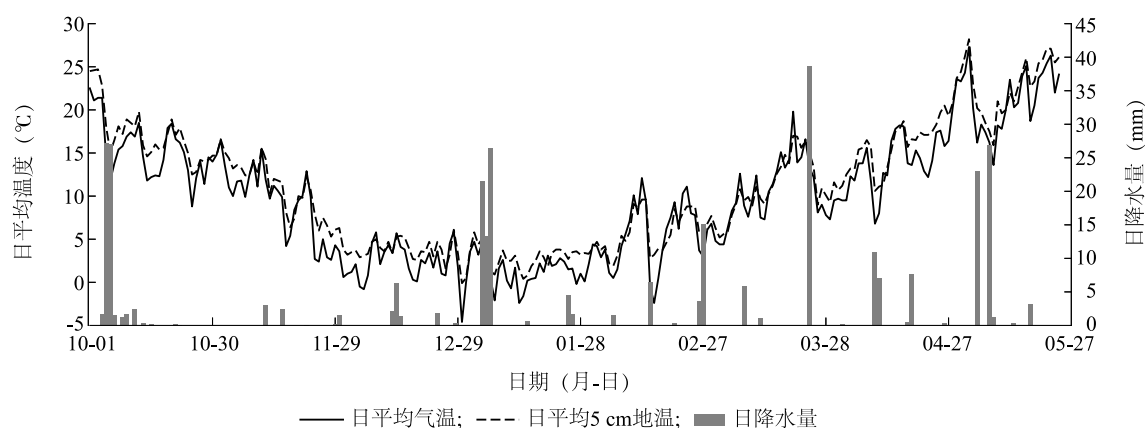


图1 试验期间田间气象要素逐日变化过程

Fig.1 Daily variation of field meteorological elements during experimental period

2.2 不同播期冬小麦冠层内温度变化特征

图2为不同播期冬小麦冠层内4月上旬和5月上旬8个时间段温度变化。结合图3可知,不同播期冠层内温度日变化趋势基本一致,白天气温较高,变化较大,均在14:00达到最大值,夜间温度低而稳定,6:00时达到最小,且5月上旬温度明显高于4月上旬。不同播期相同时间段冠层内温度不同,E10、L10处理8个时间段的冠层内温度与CK差异不明显,L20处理冠层内温度高于CK处理,但差异不显著。4月上旬各播期冬小麦逐渐进入抽穗期,E10、CK、L10、L20处理抽穗期的有效茎数分别为1 m² 667.81个、701.19个、608.44个和556.52个,且L20的冬前积温不足,植株较矮,分蘖少,密度较小,透光性较好,因此E10、CK、L10处理田间冠层内温度差异不明显,L20冠层内温度高于CK。白天9:00-11:00时间段的冠层内温度差值最大,E10、L10、L20处理分别比CK高0.11℃、0.47℃和1.17℃;夜间0:00-2:00时间段E10与CK冠层内温度基本相同,L10处理比CK低0.15℃,L20比CK高0.37℃。E10、CK、L10、L20处理的平均冠层内温度分别为10.43℃、10.44℃、10.44℃和10.94℃,L20处理比CK高0.5℃,L20处理的中位数均高于其他3个处理。5月

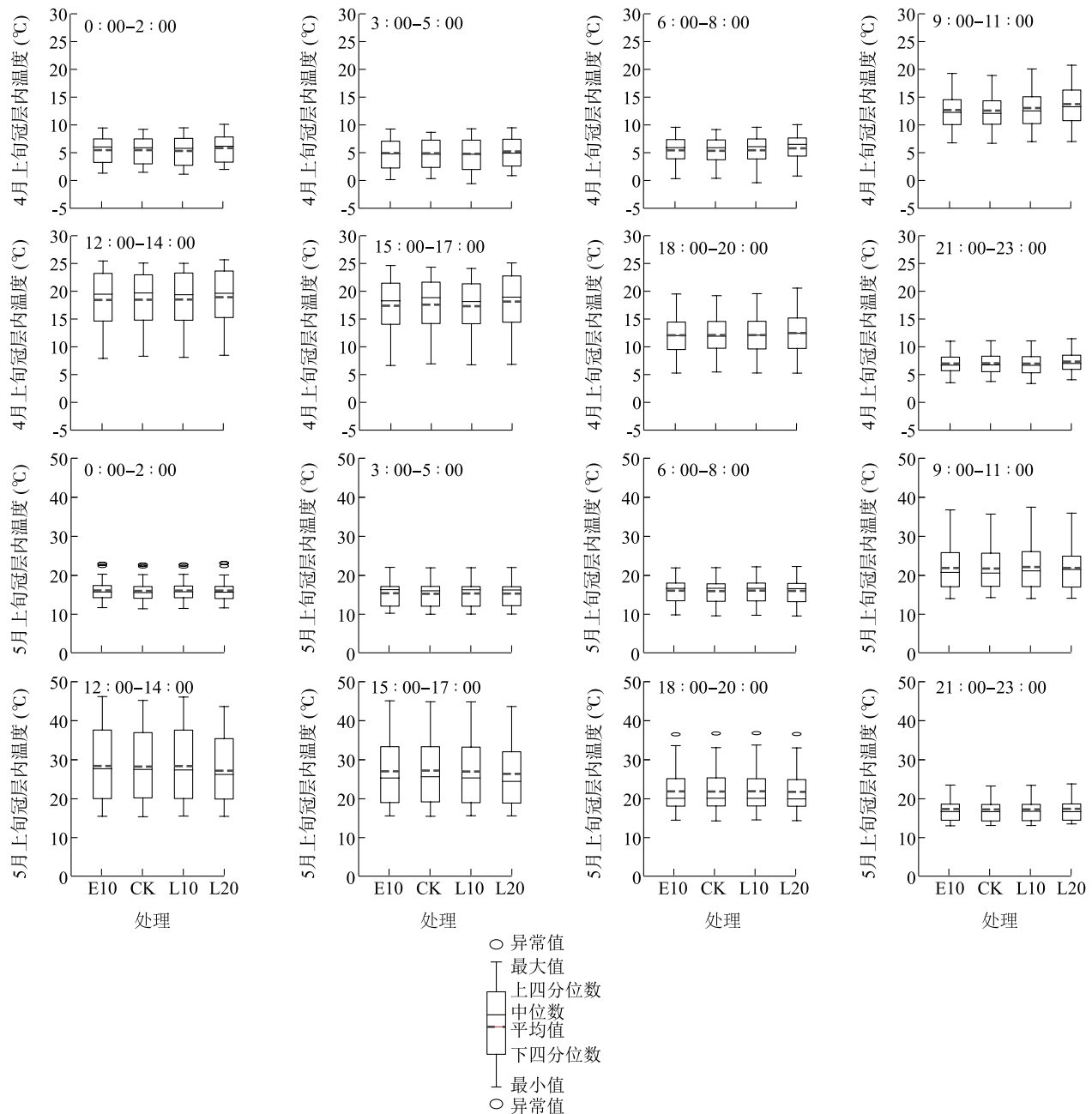
上旬各播期冬小麦处于开花-乳熟期,密度变化趋势与抽穗期一致,CK最大,L20最小。除15:00-17:00时间段外,5月上旬E10和L10处理其他时间段冠层内温度均高于CK,但差异不明显;L20处理12:00-14:00和15:00-17:00时间段冠层内温度低于CK,分别比CK低1.06℃和0.85℃,这是由E10、L10的遮蔽度较小,而此时L20的遮蔽度较大所致。从平均值来看,E10处理和L10处理均比CK高0.08℃,L20处理比CK低0.19℃。0:00-2:00和18:00-20:00时间段冠层内温度均出现异常值,12:00-17:00冠层内最高温度达到40℃以上,主要是因为5月3日出现高温天气。

2.3 不同播期冬小麦冠层内相对湿度变化特征

从图4和图5可以看出,不同播期冠层内相对湿度日变化趋势基本一致,且与温度相反,白天冠层内相对湿度较小,变化较大,在14:00或15:00达到最小值,夜间相对湿度较大且变化较小,均在7:00达到最大值。不同播期相同时间段冠层内相对湿度不同,白天差异较夜间明显。4月上旬不同时间段冠层内相对湿度CK基本都高于其他3种处理,此时CK的密度高于其他3种处理,且植株较高,故相

对湿度较大。夜间0:00–2:00时间段 CK 比 E10、L20 处理均高 0.75%, 与 L10 处理相差较小。白天 9:00–11:00 时间段 CK 分别比 E10、L10、L20 处理高 2.83%、3.73% 和 9.13%。E10、CK、L10、L20 处理的冠层内平均相对湿度分别为 86.28%、87.60%、86.58% 和 84.00%。8 个时间段中, 9:00–11:00 时间段的 L20 处理冠层内相对湿度与 CK 的差异达极显著水平 ($P < 0.01$), 12:00–14:00 时间段的

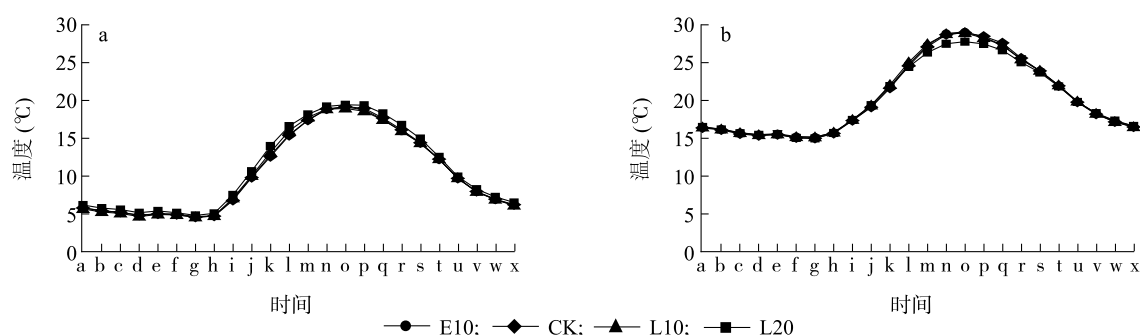
L20 处理与 CK 的差异达显著水平 ($P < 0.05$)。与 4 月上旬冠层内温度相比, 冠层内相对湿度异常值增多。5 月上旬 E10、L10 处理冠层内相对湿度均低于 CK, L20 处理除 6:00–11:00 时间段外, 其他时间段均高于 CK。9:00–11:00 时间段 CK 分别比 E10、L10、L20 处理高 1.21%、2.89% 和 2.85%。从平均值来看, E10 处理和 L10 处理分别比 CK 低 0.44%、0.74%, L20 处理比 CK 高 0.33%。



E10:播种日期为10月1日,L10:播种日期为10月21日,L20:播种日期为10月31日,CK:播种日期为10月11日。○代表异常值。

图2 不同播期冬小麦冠层内8个时间段温度变化

Fig.2 Variations of canopy temperature of eight time sections of winter wheat in different sowing dates



a; 0:00; b; 1:00; c; 2:00; d; 3:00; e; 4:00; f; 5:00; g; 6:00; h; 7:00; i; 8:00; j; 9:00; k; 10:00; l; 11:00; m; 12:00; n; 13:00; o; 14:00; p; 15:00; q; 16:00; r; 17:00; s; 18:00; t; 19:00; u; 20:00; v; 21:00; w; 22:00; x; 23:00; 各处理见图2注。

图3 不同播期冬小麦冠层内4月上旬(a)和5月上旬(b)平均温度日变化

Fig.3 Diurnal variation of average temperature of winter wheat at early April (a) and early May (b) in canopy at different sowing dates

2.4 不同播期冬小麦生育期差异

不同播期冬小麦生育期见图6。E10、CK、L10和L20 4种处理的出苗日期分别为10月7日、10月18日、10月30日和11月11日,表现为随着播期的推迟而推迟,播期越晚,出苗需要时间越长。E10、CK、L10处理均在11月上中旬进入分蘖期,而L20处理12月18日才进入分蘖期。不同播期冬小麦均在1月8日进入越冬期,植株基本停止生长。越冬后不同处理生育期逐渐趋于一致,E10处理4月17日开花,CK和L10处理均在4月18日开花,L20处理开花较晚,在4月23日开花。除L20处理外,其他3种处理在5月16日进入乳熟期;不同处理冬小麦均在5月25日成熟。

不同播期处理各生育期天数明显不同,4种处理的播种-分蘖天数差异明显,L20明显高于其他3种处理,E10、CK、L10、L20处理的分蘖-越冬天数分别为64 d、61 d、54 d和21 d,表现为随着播期推迟而缩短。越冬后拔节-抽穗和抽穗-乳熟天数随着播期推迟而减少,E10、CK、L10、L20处理的抽穗-乳熟天数分别为42 d、40 d、38 d和36 d,处理间差异较越冬前小,这主要是因为越冬后不同播期冬小麦的生长逐渐趋于一致。全生育期天数随着播期的推迟而减少。生育期天数与气象因素的相关性(表1)来看,播种-分蘖天数与日平均气温、日最高气温、日最低气温、冠层内温度和5 cm地温呈负相关,与日照时数呈正相关。分蘖-越冬天数与日平均气温、日最高气温、冠层内温度和5 cm地温呈显著正相关,与日平均相对湿度和冠层内相对湿度呈极显著负相关,与降水量和日照时数呈极显著正相关。越冬-拔节天数与日平均气温、日最高气温、日最低气温、冠

层内温度、5 cm地温和日照时数呈极显著正相关。拔节-抽穗天数与日最低气温、冠层内温度和5 cm地温呈显著负相关。抽穗-成熟天数与日平均气温、日最高气温、日最低气温、冠层内温度和5 cm地温呈显著负相关。

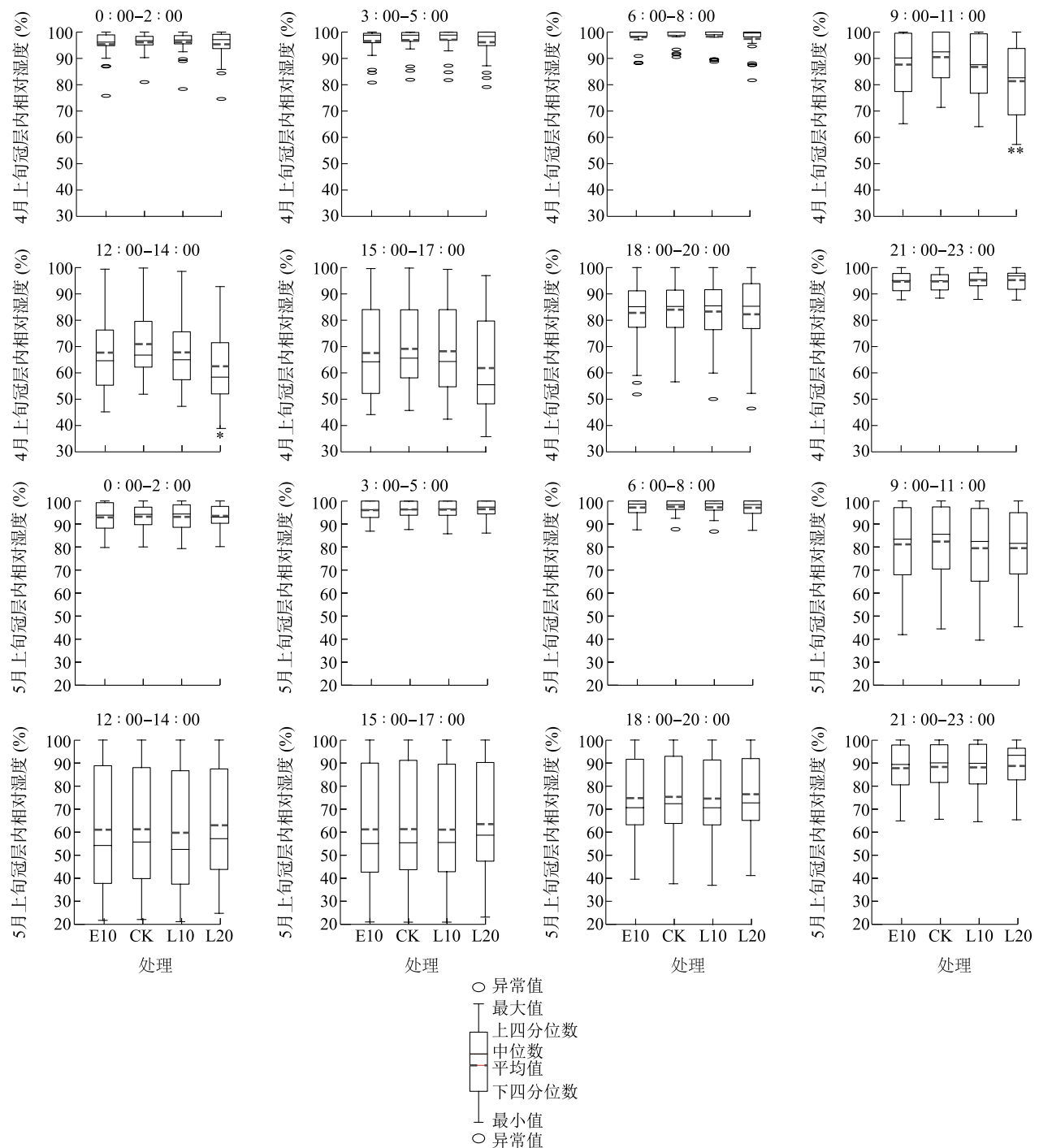
2.5 不同播期冬小麦冬前积温及株高差异

不同播期冬小麦冬前积温不同,随着播期的推迟,冬前积温呈递减趋势,E10、CK、L10、L20处理的冬前积温分别为833.4 °C、664.1 °C、515.2 °C和379.7 °C,有研究表明,河南省适宜播种的冬前积温为650~750 °C^[16]。L10处理冬前积温略微不足,而L20处理冬前积温严重不足,不利于冬前壮苗的形成。

由图7可知,不同播期冬小麦株高变化趋势一致,且生育后期生长速度较快,乳熟期株高达到最大值。E10、CK、L10、L20处理乳熟期株高分别为81.6 cm、79.9 cm、78.3 cm和70.8 cm,L20处理与其他3种处理的差异均在0.01水平上显著。整个生育期不同播期的株高均表现为E10>CK>L10>L20,即随着播期的推迟,株高逐渐减少,这是因为晚播冬小麦冬前株高生长量不足,不利于分蘖和形成壮苗。三叶期E10、CK处理株高差异不显著,L10、L20处理与CK差异极显著($P<0.01$)。分蘖、越冬和返青期4种处理间的株高差异均达到极显著水平,开花期L20处理与E10、CK处理的株高差异极显著。

2.6 不同播期冬小麦产量构成因素差异

对不同播期冬小麦的产量构成因素进行比较分析(表2),CK和E10处理的小穗数分别为20.93个和20.13个,L10、L20处理的小穗数都不足20个,晚播处理的小穗数明显减少,4种处理中CK的小穗数最多,



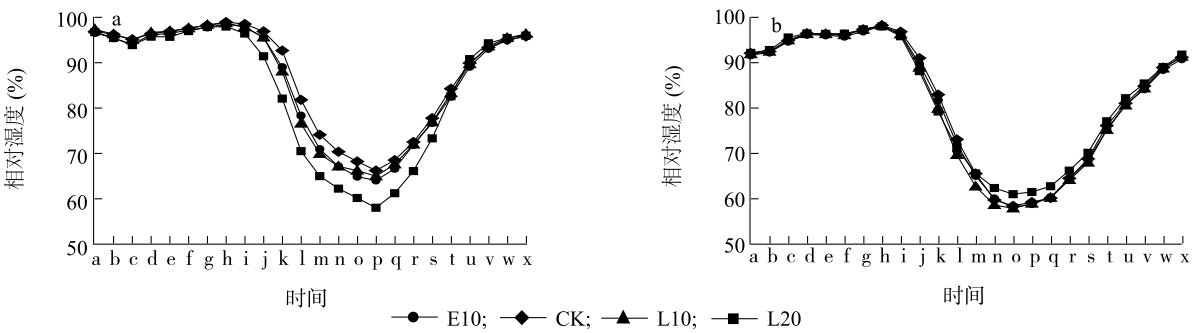
E10、L10、L20、CK 见图 2 注。○代表异常值。

图 4 不同播期冬小麦冠层内 8 个时间段相对湿度变化

Fig.4 Variations of relative humidity of canopy at eight time sections of winter wheat in different sowing dates

且与 L10、L20 处理呈极显著差异。E10 处理和 CK 的不孕小穗数较 L10、L20 处理多,且与 L10、L20 处理呈显著差异。4 种处理中 L20 处理的穗粒数最大,为 37.80 粒,与其他 3 种处理呈极显著差异,这是因为 L20 处理的不孕小穗数最少。CK 的有效穗数最大,L20 的

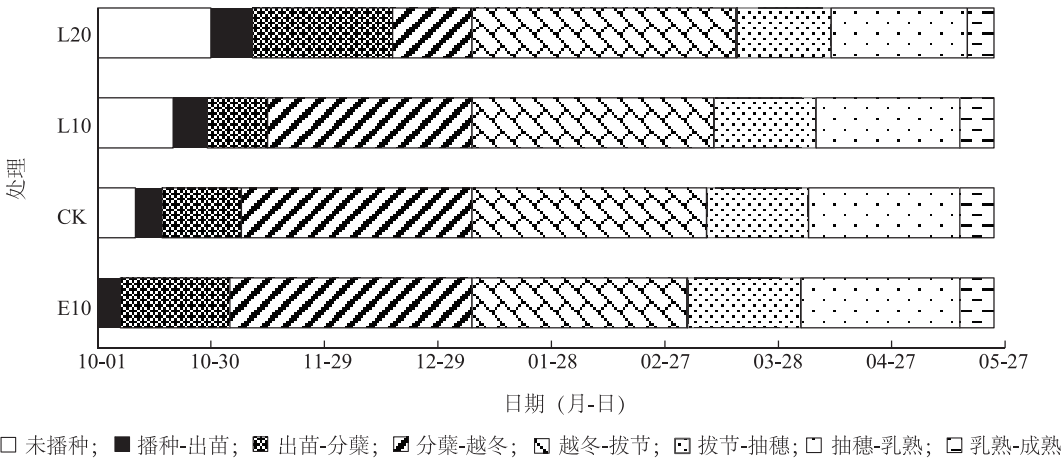
有效穗数最小,这是因为晚播处理冬前积温不足,不利于分蘖和形成壮苗,且 CK 与 L10、L20 处理呈极显著差异。L10 处理的千粒质量最大,CK 次之,E10 处理的千粒质量最小,处理间差异均不显著。4 种处理中,CK 的产量最大,E10 处理次之,L10 处理的产量最小。



a~x 见图 3 注。E10、CK、L10、L20 见图 2 注。

图 5 不同播期冬小麦冠层内 4 月上旬(a)和 5 月上旬(b)平均相对湿度日变化

Fig.5 Diurnal variation of average relative humidity in canopy of winter wheat at early April (a) and early May (b) in different sowing dates



E10、CK、L10、L20 见图 2 注。

图 6 不同播期冬小麦生育期

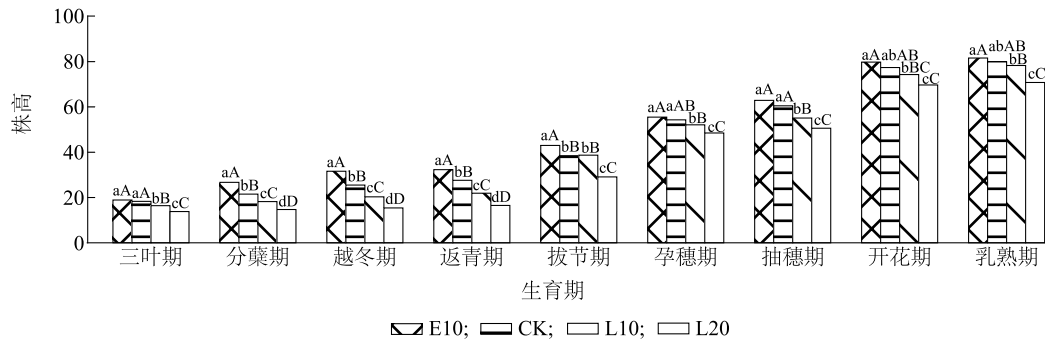
Fig.6 Growth periods of winter wheat in different sowing dates

表 1 冬小麦生育期天数与气象因素的相关性

Table 1 Correlation coefficients between meteorological elements and growth periods of winter wheat

	播种-分蘖天数	分蘖-越冬天数	越冬-拔节天数	拔节-抽穗天数	抽穗-成熟天数
日平均气温	-0.792	0.973 *	1.000 **	-0.878	-0.979 *
日平均最高气温	-0.874	0.979 *	0.996 **	-0.252	-0.970 *
日平均最低气温	-0.698	0.950	0.993 **	-0.963 *	-0.989 *
日平均相对湿度	-0.303	-0.991 **	-0.914	0.963 *	0.582
冠层内温度	-0.795	0.958 *	1.000 **	-0.987 *	-0.979 *
冠层内相对湿度	0.366	-0.996 **	-0.598	0.589	0.716
5 cm 地温	-0.754	0.982 *	1.000 **	-0.954 *	-0.986 *
降水量	0.289	0.998 **	0.865	-0.442	0.878
日照时数	0.938	0.993 **	0.992 **	0.921	0.988 *

* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著相关。



E10、CK、L10、L20 见图 2 注。同一生育期处理间不同大、小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平上差异显著。

图 7 不同播期冬小麦株高

Fig.7 Plant height of winter wheat in different sowing dates

表 2 不同播期冬小麦产量构成因素差异分析

Table 2 Analysis on the differences of constitutional factors for winter wheat in different sowing dates

处理	小穗数 (个)	不孕小穗数 (个)	穗粒数 (粒)	有效穗数 (穗, 1 m ²)	千粒质量 (g)	产量 (g/m ²)
E10	20.13±0.57aAB	3.10±0.26aAB	32.67±2.90bB	666.56±19.31aAB	44.73±2.14aA	716.51±18.45aA
CK	20.93±0.49aA	3.47±0.31aA	29.43±2.17bB	704.90±16.78aA	45.83±1.33aA	723.64±16.47aA
L10	19.10±0.10bBC	2.27±0.45bB	32.20±1.37bB	607.20±22.15bBC	46.13±1.66aA	676.78±18.45bA
L20	18.57±0.55bC	1.17±0.38cC	37.80±1.85aA	555.26±24.33bC	44.83±1.11aA	705.34±24.89aA

E10、CK、L10、L20 见图 2 注。同列不同大、小写字母分别表示处理间在 0.01 和 0.05 水平上差异显著。

3 讨论

作物的生长发育和产量形成与农田小气候密切相关。不同播期相同时间段冠层内温度不同,4月上旬,E10、L10 处理与 CK 的冠层内温度差别不明显,L20 处理的冠层内温度高于 CK,这是因为 CK 的密度最大,L20 处理的冬前积温不足,植株较矮,分蘖少,透光较高。5月上旬,E10、L10 处理与 CK 的冠层内温度差别较小,而 L20 处理白天冠层内温度低于 CK,这是由 E10、L10 处理的遮蔽度较小,而此时 L20 处理的遮蔽度较大所致。与冠层内温度变化不同,4月上旬 CK 的冠层内相对湿度基本都高于其他 3 种处理,5月上旬 E10、L10 处理的冠层内平均相对湿度均低于 CK,L20 处理的冠层内平均相对湿度高于 CK,这与作物外部气候环境和自身生长状况有关^[27]。本研究只对部分关键生育期的某一高度小气候特征进行了分析,具有一定的局限性,今后可考虑研究冬小麦整个生育期群体内的小气候特征。

本研究中,不同播期冬小麦发育进程不同。出苗期随着播期的推迟而推迟,越冬后发育期逐渐趋

于一致,这与信志红等^[19]的研究结果相似。播种-分蘖天数与温度呈负相关,分蘖-越冬天数与温度呈显著正相关,拔节-抽穗天数与日最低气温、地温呈显著负相关,抽穗-成熟天数与温度呈显著负相关。在成林等^[14]的研究中也有类似的结果。适宜的冬前积温对小麦生长发育有重要作用^[28]。随着播期的推迟,冬前积温呈递减趋势,株高逐渐减少,这是因为晚播冬小麦冬前生长量不足,不利于分蘖和形成壮苗。小麦产量与产量构成因素密切相关^[29]。不同播期冬小麦产量构成因素不同,CK 的小穗数最多,播期越晚,小穗数越少,这与 Sokoto 等^[24]的研究结果一致。E10 处理和 CK 的不孕小穗数较 L10、L20 处理多,这可能与 3 月 30 日出现的晚霜冻有关,冠层内的最低气温达 0℃ 以下,造成穗尖受冻。有研究者指出,拔节后随着生育进程的推进,小麦的抗寒性不断下降^[30]。因此 E10 处理和 CK 的不孕小穗数较多。CK 的有效穗数最多,L20 处理的有效穗数最小,这是因为晚播处理冬前积温不足,不利于分蘖和形成壮苗。4 种处理中,CK 的产量最高,E10 处理次之,L10 处理的产量最小,各处理间差异不显著,这可能是由于霜冻引起 CK 穗尖受冻,使穗粒数

减少所致。

参考文献:

- [1] HUANG X, WANG C, HOU J, et al. Coordination of carbon and nitrogen accumulation and translocation of winter wheat plant to improve grain yield and processing quality[J]. Scientific Reports, 2020, 10(1):10340.
- [2] 张盼盼,周 瑜,宋 慧,等. 不同肥力水平下糜子生长状况及农田小气候特征比较[J]. 应用生态学报, 2015, 26(2):473-480.
- [3] 马美娟,景元书,高益波,等. 不同灌溉处理稻田小气候特征及生理特性研究[J]. 节水灌溉, 2018, 277(9):21-27,31.
- [4] HE F. Effects of N rates on canopy microclimate and population health in irrigated rice[J]. Agricultural Science & Technology, 2009,10(6):79-83.
- [5] 刘 洋,栗岩峰,李久生,等. 东北半湿润区膜下滴灌对农田水热和玉米产量的影响[J]. 农业机械学报, 2015, 46(10):93-104.
- [6] ADAMS P D, WEAVER D B. Brachytic stem trait, row spacing, and plant population effects on soybean yield[J]. Crop Science, 1998, 38(3):750-755.
- [7] 王兴亚,周勋波,钟雯雯,等. 种植方式和施氮量对冬小麦产量和农田小气候的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(1):14-21.
- [8] 雷钧杰,张永强,陈兴武,等.施氮量对新疆滴灌冬小麦冠层结构及其小气候特征的影响[J]. 中国农业大学学报, 2017,22(10):1-14.
- [9] 余卫东,成 林. 灌溉对孕穗期冬小麦农田温度的影响[J]. 生态学报, 2012, 31(7):1701-1706.
- [10] 张 娜,张永强,徐文修,等. 滴灌量对冬小麦田间小气候及产量的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(1):64-73.
- [11] 车少静,智利辉,冯立辉. 气候变暖对石家庄冬小麦主要生育期的影响及对策[J]. 中国农业气象, 2005(3):40-43.
- [12] 郭 瑞,季书勤,王汉芳,等. 气候变化对河南省中、北部冬小麦播期和越冬的影响[J]. 河南农业科学, 2011, 40(1):37-40.
- [13] 张明捷,王运行,赵桂芳,等. 濮阳冬小麦生育期气候变化及其对小麦产量的影响[J]. 中国农业气象, 2009(2):223-229.
- [14] 成 林,李彤霄,刘荣花. 主要生育期气候变化对河南省冬小麦生长及产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(6):931-940.
- [15] 檀艳静. 1981-2016 年河南省冬小麦产量对气象因素变化的响应[J]. 气象与环境科学,2018,41(4):108-116.
- [16] 李巧云,年 力,刘万代,等. 冬前积温对河南省小麦冬前生长发育的影响[J]. 中国农业气象, 2010, 31(4):563-569.
- [17] OUDA S A, EL-MARSAFAWY S M, EL-KHOLY M A, et al. Simulating the effect of water stress and different sowing dates on wheat production in South Delta[J]. Journal of Applied Sciences Research, 2005, 1(3):268-276.
- [18] SINGH A, DAVINDER S, KANGAND J S, et al. Management practices to mitigate the impact of high temperature on wheat[J]. HIOAB Journal, 2011, 2(7):11-22.
- [19] 信志红,郭建平,谭凯炎. 典型高温年分期播种冬小麦生育及产量性状差异性分析[J]. 中国农业气象, 2018(9):601-610.
- [20] WAHA K, MÜLLER C, BONDEAU A, et al. Adaptation to climate change through the choice of cropping system and sowing date in sub-Saharan Africa[J]. Glob Environ Chang, 2013, 23:130-143.
- [21] 杨洪宾,徐成忠,李春光,等. 播期对冬小麦生长及所需积温的影响[J]. 中国农业气象, 2009(2):79-81.
- [22] 杜世州,乔玉强,李 玮,等. 低温冷害下不同播期和播量对冬小麦籽粒灌浆特征的影响[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(5):551-559.
- [23] 吴少辉,田文仲,张 园,等. 播期和密度对黄淮麦区弱春性小麦品种籽粒灌浆特性的影响[J]. 江西农业学报, 2014, 26(10):16-19.
- [24] SOKOTO M B, AGIT S. Yield and yield components of bread wheat as influenced by water stress, sowing date and cultivar in Sokoto, Sudan Savannah, Nigeria[J]. American Journal of Plant Sciences,2013, 4(12):122-130.
- [25] REZAEI E E, SIEBERT S, HÜGING H, et al. Climate change effect on wheat phenology depends on cultivar change[J]. Scientific Reports, 2018, 8(1):4891.
- [26] 国家气象局.农业气象观测规范(上卷)[M].北京:气象出版社,1993:7-34.
- [27] 翁笃鸣. 小气候和农田小气候[M]. 北京:农业出版社,1981.
- [28] 贾振华,恽友兰,李 华. 北京小麦晚秋播种生育特点的研究[C]//卢良恕.中国小麦栽培研究新进展.北京:农业出版社,1993:139-147.
- [29] 闫福春,陈 青,徐秀珍. 影响小麦产量因素对产量形成的贡献[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(10):78-80.
- [30] 余卫东,赵国强,陈怀亮. 气候变化对河南省主要农作物生育期的影响[J]. 中国农业气象, 2007,28(1):9-12.

(责任编辑:张震林)