

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.170786

孙宏勇, 刘小京, 王金涛, 董心亮, 郭凯, 巨兆强. 品种和播期对华北春玉米产量及水分利用效率的影响[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(6): 837–846

SUN H Y, LIU X J, WANG J T, DONG X L, GUO K, JU Z Q. Effects of sowing date and cultivar on grain yield and water use efficiency of spring maize in the North China Plain[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2018, 26(6): 837–846

品种和播期对华北春玉米产量及水分利用效率的影响*

孙宏勇, 刘小京, 王金涛, 董心亮, 郭凯, 巨兆强

(中国科学院农业水资源重点实验室/中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心 石家庄 050022)

摘要: 华北平原冬小麦夏玉米一年两作种植制度主要受水资源的约束, 发展休耕轮作是实现该区域农业可持续发展的途径之一。春玉米高效生产是提升休耕轮作产能的关键因素, 如何利用品种特性进行播期调整以适应区域生产特点提高产量是该区春玉米生产中面临的主要问题。为此, 于2016年5—9月在中国科学院南皮生态农业试验站以5个玉米品种(‘华农887’、‘胡新338’、‘郑单958’、‘华农866’和‘联创1号’)为材料, 比较分析了3个播期(5月1日、5月15日和5月30日)下春玉米生育时期、产量及产量要素、耗水和水分利用效率的变化情况, 并结合气象因子分析探讨了春玉米产量及其构成要素与环境因子的关系。结果表明: 随着播期推迟, 不同春玉米品种的生育期总天数均呈显著减少趋势($P < 0.05$), 生育期总天数的减少主要是播种到抽雄天数减少所致。不同春玉米品种的生育期总天数也存在较大差异, 在各播期处理下均相差5~7 d。在产量方面, 5月1日和5月15日播种的5个玉米品种间平均产量没有显著差异, 5月30日播种的平均产量显著高于前2个播期, 其产量提升主要是百粒重增加所致。随着播期的推迟, 春玉米的耗水量变化不大, 水分利用效率呈增加趋势, 这主要与降水的分布有关。通过气象因子分析, 不同播期下百粒重与抽雄前后的积温和降水呈显著相关($P < 0.05$)。综合产量、耗水和水分利用效率分析, 在该区域推荐5月30日左右为春玉米的适宜播种日期, ‘华农866’和‘华农887’是适宜该区生产的潜力品种。

关键词: 春玉米; 玉米品种; 播期; 生育期; 产量; 水分利用效率

中图分类号: S513 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2018)06-0837-10

Effects of sowing date and cultivar on grain yield and water use efficiency of spring maize in the North China Plain*

SUN Hongyong, LIU Xiaojing, WANG Jintao, DONG Xinliang, GUO Kai, JU Zhaoqiang

(Key Laboratory of Agricultural Water Resources, Chinese Academy of Sciences / Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050022, China)

Abstract: The double winter wheat and summer maize rotation cropping system in the North China Plain (NCP) is mainly limited by water shortage. To solve this problem, a land fallow policy has been introduced in NCP, especially in the groundwater-over-exploited region. A three cropping system in two years which includes winter wheat, summer maize and spring maize was introduced in place of the double cropping system in a year. Meanwhile, grain yield of spring maize is mainly limited by environmental (e.g., precipitation and temperature), biological (e.g., released cultivar) factors. Improving spring maize yield and water use efficiency using optimal

* 国家重点研发计划项目(2016YFD0300305)、中国科学院 STS 项目“渤海粮仓现代农业区域科技示范”和中国科学院重点部署项目资助孙宏勇, 主要从事农田水盐运移过程机理与调控研究。E-mail: hysun@sjziam.ac.cn

收稿日期: 2017-08-31 接受日期: 2018-01-17

* The study was supported by the National Key Research and Development Project of China (2016YFD0300305), the Science and Technology Service Network Initiative of Chinese Academy of Sciences “Modern Agricultural Regional Science and Technology Demonstration in Bohai Granary” and the Key Development Project of Chinese Academy of Sciences.

Corresponding author, SUN Hongyong, E-mail: hysun@sjziam.ac.cn

Received Aug. 31, 2017; accepted Jan. 17, 2018

sowing date that is adapted to maize cultivar characteristics is critical in solving this problem. A field experiment was conducted in Nanpi Eco-agricultural Station of Chinese Academy of Science in 2016, consisting of 5 maize cultivars (HN887, HX338, ZD958, HN866 and LC1) and 3 sowing dates (May 1, May 15 and May 30) treatments. The phenological stages were observed, and soil water content in the 2 m soil profile, grain yield and yield components were measured and weather factors recorded for the period of study. The results showed that the days from sowing to maturity of the 5 cultivars all significantly reduced with sowing date delay, which mainly reduced the days from sowing to tasselling stage ($P < 0.05$). For different cultivars, the days from sowing to maturity were significantly different and the differences were similar (5–7 d distance) for all three sowing date treatments. There was no significant difference between averaged grain yield for 5 cultivars for May 1 and May 15 sowing date treatments. May 30 sowing date had the highest grain yield, which was mainly caused by the higher 100-grain weight (3.3 g higher than others). For water consumption, there was no significant difference among 3 sowing dates because there was no irrigation during the growth stage for all treatments and precipitation was 405.2–416.0 mm. There was also no significant difference in water consumption among different maize cultivars. The trend in water use efficiency (WUE) was also similar to that in grain yield, which increased with sowing date delay. There were significant differences in WUE among different sowing dates and maize cultivars. Meanwhile, the correlation was significant between 100-grain weight and precipitation before and after tasselling and then between 100-grain weight and accumulated temperature before and after tasselling. The comprehensive analysis of the grain yield, water uptake and water use efficiency showed that the optimal sowing date was May 30, with ‘HN866’ and ‘HN887’ as the cultivars with the best performance in the study area.

Keywords: Spring maize; Maize cultivar; Sowing date; Growth period; Maize yield; Water use efficiency

2015 年中国玉米(*Zea mays*)种植面积达 0.38 亿 hm^2 , 总产达 2.24 亿 t, 面积和总产均列作物第 1 位, 玉米已成为中国第一大作物^[1]。华北平原是我国重要的粮食生产基地, 是小麦(*Triticum aestivum*)和玉米的主产区^[2], 又是我国水资源短缺地区, 水资源短缺已经成为限制该区农业生产的主要障碍因子。近期, 我国农业部等 10 部委联合发布《探索实行耕地轮作休耕制度试点方案》, 提出重点在地下水漏斗区、重金属污染区和生态严重退化地区开展休耕轮作试点, 在河北省黑龙港地下水漏斗区推荐种植雨热同季的春玉米等作物, 减少地下水用量。因此, 如何充分利用降水资源提高春玉米水分利用效率和高效生产已成为该区玉米生产技术的迫切需求。

品种特性和管理措施是实现玉米高产的必要条件, 针对品种特性采取配套的技术和管理措施是实现玉米高产的重要保障^[3]。关于玉米品种特性与高产关系的研究主要集中在不同基因型品种的适宜密度、农艺性状、养分利用机理、高产稳产性评价及高产品种产量结构和形成机制^[4-10]等方面, 研究结果表明不同玉米品种产量存在显著差异, 其在地上地下表型及对光热和水肥的利用方面也存在一定差异。关于管理措施提升玉米产量的研究, 主要集中在播期、播种密度和肥料施用方面。关于玉米播期如何促进高效生产的研究主要集中于播期对玉米籽粒灌浆、生长发育、产量性能和产量形成的影响^[11-16]以及播期如何与种植密度、肥料管理等措施^[17-19]协同影响产量等方面。刘明等^[16]研究了两个春玉米品种在两个播期下(4月24日和5月15日)的产量表现, 提出5月15日为合理播期, 降水是实现春玉米生长的重要保障。刘战

东等^[19]研究了两个春玉米品种 4 个密度下产量和耗水特性, 提出不同品种的水分利用效率在不同密度下表现不同。以上研究主要集中在品种高产机理, 品种、播期和密度等对产量的协同影响, 品种与密度对产量和耗水等方面的影响, 缺乏品种、播期及相应时期气象因子等综合要素对玉米生产影响的研究。华北春玉米如何通过调整播期来实现降水高效利用, 如何利用品种、播期和降水的耦合效应, 提高产量和水分利用鲜有报道。在华北平原探索休耕的形式下, 如何通过春玉米的播期调整探索构建降水资源高效利用、保障产量又与休耕制度相符的优化种植模式, 是该区域农业可持续发展研究的重要内容。

本文以 5 个春玉米品种为材料, 旨在探讨 3 个播期下春玉米的生长发育特点和水分利用特征, 筛选研究区适宜的春玉米品种以及明确提高春玉米生育期降雨利用效率的适宜播期, 以期为研究区春玉米高产栽培及水分高效利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2016 年在中国科学院南皮生态农业试验站进行。试验站位于 $38^{\circ}00'06''\text{N}$, $116^{\circ}00'40''\text{E}$, 海拔 11.0 m, 属华北平原环渤海区域。该地区多年平均气温 12.3°C , 多年平均降水量 520 mm。耕地土壤为轻壤质潮土, 土壤容重为 $1.42\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 田间持水量 $0.34\text{ cm}^3\cdot\text{cm}^{-3}$, 玉米的凋萎系数为 $0.10\text{ cm}^3\cdot\text{cm}^{-3}$; 耕层土壤有机质含量 $10\sim 12\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 有效氮、磷、钾含量分别为 $98\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $15\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。主要种植作物为冬小麦、夏玉米和春

玉米, 主要种植制度为冬小麦-夏玉米一年 2 作(10 月初播种冬小麦, 于翌年 6 月上旬收获后立即播种夏玉米, 9 月底收获夏玉米)和冬小麦-夏玉米-春玉米二年三作(10 月初播种冬小麦, 于次年 6 月上旬收获后立即播种夏玉米, 9 月底收获夏玉米, 然后休耕, 于翌年春天播种春玉米, 春玉米播种时期与降水有关)。

试验选用该区域种植面积较大的‘华农 887’、‘胡新 338’、‘郑单 958’、‘华农 866’和‘联创 1 号’等 5 个品种。该区春玉米的播期一般根据降水进行调整, 发生 1 次 10 mm 以上的降水则进行播种。试验播期设 5 月 1 日、5 月 15 日和 5 月 30 日 3 个播期, 随机区组设计, 共 15 个处理, 3 次重复。每个小区面积 48 m² (8 m×6 m), 种植密度为 67 500 株·hm⁻², 行距 60 cm。5 月 1 日播期处理, 因该时期没有降水, 播前灌溉 1 次, 水量 60 mm, 5 月 15 日和 5 月 30 日播期处理在播前有降水发生, 未灌溉。

按照当地习惯进行播种和田间管理。根据降雨情况在 7 月 20 日进行尿素追肥, 施氮量为 240 kg·hm⁻², 病虫害防治等田间其他管理措施与当地相同。

1.2 测定项目与方法

观测不同春玉米品种在不同播期下的出苗期、拔节期、抽雄期和成熟期等生育时期数据。

在春玉米播种前后分别用烘干法测定土壤含水量, 每 20 cm 一个层次取土测定, 测定深度 2 m, 共 10 层。每个小区在春玉米拔节期、吐丝期、乳熟期和完熟期, 各取玉米 3 株, 分茎、叶、穗等器官于 105 °C 下杀青 30 min, 80 °C 下烘干至恒重。计算地上营养器官的物质运转率和对籽粒的贡献率^[15]。

营养器官的物质运转率=(器官最大干物质质量-器官成熟时干物质质量)/器官最大干物质质量×100% (1)

营养器官对籽粒贡献率=(器官最大干物质质量-器官成熟时干物质质量)/籽粒干物质质量×100% (2)

玉米成熟后每个小区取中间 4 行 3 m 进行测产, 记录总株数、有效穗数等; 另取 10 株具有代表性的植株进行考种, 测定穗粒数、百粒重和收获指数等指标。

1.3 数据分析

2016 年的逐日降水量、日最高气温、日最低气温、日平均气温和日照时数等基本气象资料由中国科学院南皮生态农业试验站自动气象站记录获得, 历年气象资料由中国气象数据共享服务网的泊头气象站下载获得, 该气象站距离试验基地 5 km。

参照文献[20]计算水量平衡和水分利用效率。

采用 Microsoft Excel 和 SPSS 15.0 进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 播期对不同品种春玉米生长发育的影响

2.1.1 生育期内气象因子变化

由图 1 可知, 2016 年 4—9 月降水量为 445.2 mm, 比该区多年平均降水量少 72.4 mm, 属于偏旱年份。同时, 降水分布不均, 4、9 月份降水量较少, 7、8 月份降水量达 302.2 mm, 占生育期降水的 67.88%, 8 月中旬降水量达 103.36 mm。与多年平均气温相比, 2016 年气温在 4、9 月份偏高, 5、6 月份偏低, 7 月下旬和 8 月上旬、中旬偏高。说明 2016 年玉米生长季属于温度偏高、偏旱的年份。

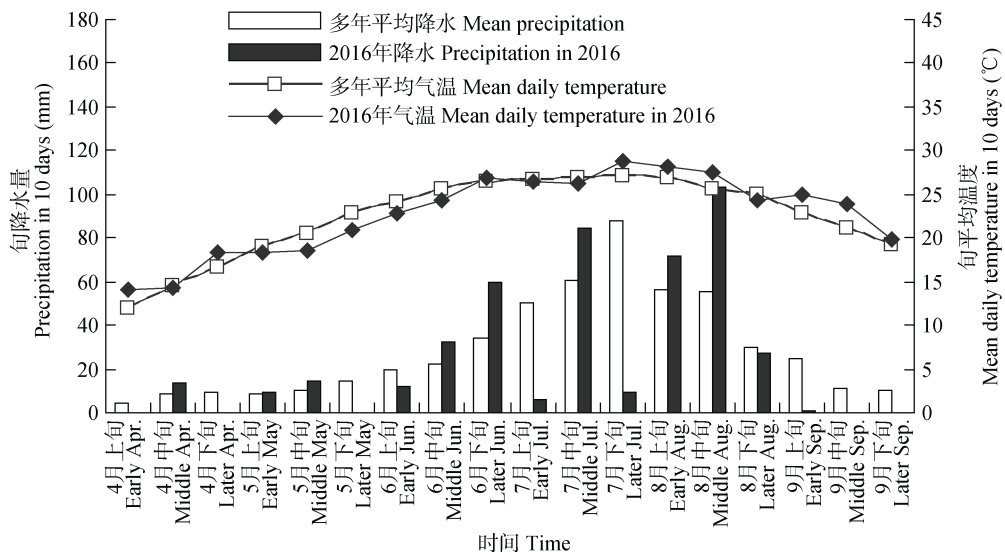


图 1 2016 年与多年平均(1960—2014 年)的玉米生长期逐旬平均温度和降水量变化

Fig. 1 Average ten-day temperature and precipitation from April to September in 2016 and the mean data from 1960 to 2014

2.1.2 对春玉米生育时期的影响

随播期推迟各品种春玉米生育期呈缩短趋势(表 1)。播期从 5 月 1 日推迟到 5 月 15 日, 5 个品种的全生育期平均缩短 4.6 d; 播期从 5 月 15 日推迟到 5 月 30 日, 全生育期平均缩短 2.6 d。这与李文科等^[21]在吉林的研究结果相比偏小, 主要是因为吉林省玉米生长期的日均温度低于该研究区域。不同播期对生育阶段天数的影响达显著水平。5 月 1 日和 5 月 15 日播种的处理, 从播种到抽雄阶段的天数比从抽雄到成熟阶段的天数多 10 d 左右, 而 5 月 31 日播种的处理, 两个阶段的天数相差不大。播期的推迟主要是缩短了从播种到抽雄阶段的时间, 5 月 1 日、5 月 15 日和 5 月 30 日播种处理这个阶段的天数分别为 68.8 d、63.2 d 和 55.8 d; 而后期温度的降低导致了抽雄到成熟阶段天数的增加, 3 个处理分别为 52.0

d、53.0 d 和 57.6 d。从不同品种来看, 不同播期下生育期天数存在显著差异。不同品种全生育期天数的变化趋势相同, 在不同播期下‘华农 887’的生育期最短, ‘联创 1 号’的生育期最长, 在 5 月 1 日、5 月 15 日和 5 月 30 日播种的处理下, 二者全生育期天数分别为 119 d 和 114 d、111 d 和 123 d、120 d 和 118 d。播期变化引起的生育期缩短的趋势在品种间表现相同, 播期从 5 月 1 日推迟到 5 月 15 日, ‘联创 1 号’缩短时间最小, 为 3 d, ‘胡新 338’缩短时间最长, 为 6 d。播期从 5 月 15 日推迟到 5 月 30 日, ‘华农 866’和‘联创 1 号’生育期缩短时间最小, 为 2 d, ‘胡新 338’缩短时间最长, 为 4 d。早播的春玉米处理延长了营养生长时间, 主要是由于春玉米从播种到抽雄期所需的积温基本相同, 而前期的日均温度较低造成的。

表 1 不同春玉米品种不同播期的生育期进程
Table 1 Growing stages of different spring maize cultivars sowed in different dates

播种期(月-日) Sowing date (month-day)	品种 Variety	拔节期(月-日) Jointing stage (month-day)	抽雄期(月-日) Tasselling stage (month-day)	成熟期(月-日) Mature stage (month-day)	全生育期 Duration of maize (d)	播种—抽雄 Duration from sowing to tasselling (d)	抽雄—成熟 Duration from tasselling to maturity (d)
05-01	华农 887 HN887	06-09	07-06	08-28	119b	66b	53ns
	胡新 338 HX338	06-11	07-10	08-30	121ab	70a	51ns
	郑单 958 ZD958	06-11	07-10	08-30	121ab	70a	51ns
	华农 866 HN866	06-10	07-08	08-29	120ab	68ab	52ns
	联创 1 号 LC1	06-11	07-10	09-01	123a	70a	53ns
	平均值 Mean				120.8	68.8	52
05-15	华农 887 HN887	06-18	07-15	09-06	114b	61b	53ab
	胡新 338 HX338	06-19	07-16	09-07	115b	62b	53ab
	郑单 958 ZD958	06-21	07-19	09-09	117ab	65a	52b
	华农 866 HN866	06-19	07-17	09-07	115b	63ab	52b
	联创 1 号 LC1	06-20	07-19	09-12	120a	65a	55a
	平均值 Mean				116.2	63.2	53
05-30	华农 887 HN887	07-02	07-24	09-18	111b	55ab	56ab
	胡新 338 HX338	07-03	07-26	09-18	111b	56ab	55b
	郑单 958 ZD958	07-03	07-25	09-21	114b	56ab	58ab
	华农 866 HN866	07-02	07-23	09-20	113b	54b	59a
	联创 1 号 LC1	07-04	07-27	09-25	118a	58a	60a
	平均值 Mean				113.6	55.8	57.6

显著性分析 Significance

播期 Sowing date (S)	**	**	**
品种 Cultivar (C)	*	*	*
交互 S × C	*	*	*

表中同列不同小写字母表示相同播期下不同品种间差异达 0.05 水平。**代表 0.01 显著水平, *代表 0.05 显著水平, ns 代表 0.05 水平不显著。Values followed by different letters within a column are significantly different at the same planting date at 0.05 level. ** means significance at 0.01 level, * means significance at 0.05 level, ns means no significance at 0.05 level.

2.1.3 播期对干物质转移率的影响

从表 2 可以看出, 随着播期的推迟, 春玉米植

株茎、叶的干物质转移量、转移率和对籽粒的贡献率呈下降趋势。在 5 月 1 日、5 月 15 日和 5 月 30

日播种处理下, 5 个品种叶的平均干物质转移量分别为 11.18 g、10.93 g 和 10.63 g, 茎的平均干物质转移量分别为 34.72 g、24.98 g 和 15.13 g。说明叶、茎的干物质转移量均随播期推迟呈显著下降趋势, 其中茎的干物质转移量显著高于叶的干物质转移量。相同播期下不同品种的茎、叶干物质转移量、转移率和对籽粒的贡献率也存在明显差异。这些变化趋势主要由单株生物量在不同播期下的变化差异所致。从单株生物量来看, 随着播期推迟, 生物量呈增加趋势, 这主要是由于后期降水较多和温度

较高, 能够满足玉米生长需求。5 月 1 日、5 月 15 日和 5 月 30 日播种的 5 个品种在收获期的单株生物量分别为 247.9 g、283.0 g 和 305.7 g。这说明随着播期的推迟, 春玉米总生物量虽增加, 但播期早的处理会尽量多地把茎、叶的干物质向籽粒转移。早播处理虽然延长了营养生长阶段, 但由于积温的影响, 没有产生较大的生物量, 同时在吐丝期极易遇上降水, 灌浆初期遇上高温, 这两个重要时期的气象因素会对穗粒数和粒重产生影响, 进而影响最终产量的形成^[22]。

表 2 不同春玉米品种在不同播期下茎和叶的干物质转移量、转移率和籽粒转移率

Table 2 Dry matter transfer amounts, transfer rates of leaf and stem and their contribution rates to grain of different cultivars of spring maize sowed in different dates

播种期(月-日) Sowing date (month-day)	品种 Variety	叶 Leaf			茎 Stem		
		转移量 Transfer amount (g)	转移率 Transfer rate (%)	对籽粒的贡献率 Rate of contribution to grain (%)	转移量 Transfer amount (g)	转移率 Transfer rate (%)	对籽粒的贡献率 Rate of contribution to grain (%)
05-01	华农 887 HN887	10.40±0.62c	28.30a	9.86c	25.32±2.83c	35.56b	24.01c
	胡新 338 HX338	11.68±0.51b	27.24b	13.52a	38.82±3.71b	34.71b	44.95b
	郑单 958 ZD958	10.25±0.67c	27.50b	13.87a	34.43±3.13b	32.68b	46.61b
	华农 866 HN866	13.24±1.02a	28.03ab	12.69ab	28.72±3.21bc	28.70c	27.53c
	联创 1 号 LC1	10.33±0.53c	24.64c	11.57b	46.30±3.62a	42.26a	51.83a
	平均 Mean	11.18	27.14	12.30	34.72	34.78	38.99
05-15	华农 887 HN887	9.78±0.34c	22.64b	10.54c	27.08±2.87a	31.15a	29.20b
	胡新 338 HX338	11.35±0.67b	22.37b	12.67ab	21.12±2.12b	22.27c	23.58c
	郑单 958 ZD958	10.22±0.21c	21.59c	12.38b	20.71±2.71b	31.87a	25.10c
	华农 866 HN866	12.50±0.42a	25.56a	13.72a	28.37±4.31a	28.27b	31.13a
	联创 1 号 LC1	10.79±0.32bc	23.51b	10.96c	27.65±3.69a	25.76b	28.10b
	平均 Mean	10.93	23.13	12.06	24.98	27.86b	27.42
05-30	华农 887 HN887	12.54±0.13b	23.64b	13.45a	14.75±0.89b	15.03c	15.83b
	胡新 338 HX338	13.36±0.31a	25.61a	12.32ab	16.58±1.02a	15.20c	15.29b
	郑单 958 ZD958	12.94±0.27ab	23.60b	11.57b	11.86±1.73c	17.62b	10.60c
	华农 866 HN866	7.00±0.73c	15.77c	7.12c	15.04±0.52b	19.02b	15.32b
	联创 1 号 LC1	7.32±0.57c	23.02b	7.17c	17.43±1.71a	23.64a	17.07a
	平均 Mean	10.63	22.33	10.33	15.13	18.10	14.82
显著性分析 Significance							
播期 Sowing date (S)		*	*	*	**	**	**
品种 Cultivar (C)		**	**	*	**	**	**
交互 S × C		*	*	*	*	*	*

表中同列不同小写字母表示相同播期下不同品种间差异达 0.05 水平。**代表 0.01 显著水平, *代表 0.05 显著水平。Values followed by different letters within a column are significantly different for the different cultivars at the same planting date at 0.05 level. ** means significance at 0.01 level, * means significance at 0.05 level.

2.2 播期对不同品种春玉米产量及产量要素的影响

从表 3 可以看出, 不同播期对不同品种春玉米产量有显著影响。5 月 1 日与 5 月 15 日播期的春玉米产量相近, 分别为 9 186.4 kg·hm⁻² 和 9 086.4 kg·hm⁻², 均显著低于 5 月 30 日播期的 10 272.8

kg·hm⁻²。同时, 5 月 1 日播种不同品种间的变异系数较大, 为 14.41%, 5 月 15 日和 5 月 30 日播种的变异系数较小, 分别为 6.33%和 7.34%。这主要是不同播期下不同品种生长前期对干旱和低温的反应差异造成的^[23]。不同春玉米品种随播期推迟产量变化也不

相同。3 个播期下‘华农 887’、‘华农 866’、‘胡新 338’、‘创联 1 号’和‘郑单 958’的平均产量分别为 9 712.2 kg·hm⁻²、9 787.9 kg·hm⁻²、9 477.3 kg·hm⁻²、9 659.1 kg·hm⁻²和 8 939.4 kg·hm⁻²，‘郑单 958’显著低于其他品种($P<0.05$)，而其他品种间差异不显著。‘华农 887’和‘华农 866’5 月 1 日播种产量较高，而 5 月 15 日和 5 月 30 日播种产量相差不大；‘胡新 338’、‘创联 1 号’

和‘郑单 958’随播期推迟，产量呈增加趋势。‘华农 887’、‘华农 866’、‘胡新 338’、‘创联 1 号’和‘郑单 958’在不同播期下产量的变异系数分别为 7.43%、6.74%、6.79%、12.57%和 22.25%。说明不同品种在不同播期处理下产量表现差异比较显著。综合来看，应该选择 5 月 30 日播期处理，而从品种的稳定性来看应该选择稳定性较强的品种。

表 3 不同春玉米品种在不同播期下的产量及产量要素
Table 3 Yield and yield components of different cultivars of spring maize sowed in different dates

播期(月-日) Sowing date (month-day)	品种 Variety	产量 Yield		穗数 Spikes number ($\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$)	穗粒数 Kernel number per spike	百粒重 100-seed weight (g)	收获指数 Harvest index
		数值 Value (kg·hm ⁻²)	变异系数 Coefficient of variance (%)				
05-01	华农 887 HN887	10 545.5±923.3a		7.02±0.12ns	483±21a	36.1±1.51a	0.52
	胡新 338 HX338	8 636.4±679.8b		6.89±0.09ns	469±18ab	33.4±1.01b	0.43
	郑单 958 ZD958	7 386.4±949.3c		6.87±0.13ns	448±17b	33.1±0.87b	0.51
	华农 866 HN866	10 431.9±989.7a		6.81±0.11ns	489±23a	36.1±0.95a	0.51
	联创 1 号 LC1	8 931.9±862.7b		7.04±0.12ns	480±12a	31.5±0.82c	0.45
	平均 Mean	9 186.4	14.41	6.93	473.8	34.0	0.48
05-15	华农 887 HN887	9 272.8±723.1ab		6.59±0.12ns	543±15a	34.3±0.7a	0.53
	胡新 338 HX338	8 954.6±432.7b		6.79±0.14ns	521±9b	32.9±0.6b	0.52
	郑单 958 ZD958	8 250.0±213.9c		6.71±0.09ns	529±11ab	33.3±0.5ab	0.52
	华农 866 HN866	9 113.7±541.2ab		6.74±0.15ns	533±12ab	34.8±1.1a	0.53
	联创 1 号 LC1	9 841.0±721.2a		6.70±0.13ns	537±13ab	31.7±1.2b	0.52
	平均 Mean	9 086.4	6.33	6.71	532.6	33.4	0.52
05-30	华农 887 HN887	9 318.2±437.8c		6.59±0.62ns	505±6a	37.7±0.7ab	0.52
	胡新 338 HX338	10 841.0±672.1a		6.51±0.45ns	506±8a	39.5±1.2a	0.52
	郑单 958 ZD958	11 181.9±824.5a		6.67±0.21ns	503±7ab	35.9±1.1b	0.53
	华农 866 HN866	9 818.2±456.2bc		6.68±0.32ns	501±5ab	38.5±1.1a	0.54
	联创 1 号 LC1	10 204.6±521.3ab		6.59±0.25ns	489±8b	36.7±0.6b	0.54
	平均 Mean	10 272.8	7.34	6.61	500.8	37.66	0.53
显著性分析 Significance							
播期 Sowing date (S)		*		NS	*	**	*
品种 Cultivar (C)		**		NS	*	*	NS
交互 S × C		*		NS	*	*	NS

表中同列不同小写字母表示相同播期下不同品种间差异达 0.05 显著水平，ns 表示无显著性差异。**代表 0.01 显著水平，*代表 0.05 显著水平，NS 代表 0.05 水平不显著。Values followed by different letters within a column are significantly different for the different cultivars at the same planting date at 0.05 level. ns shows no significance at 0.05 level. ** means significance at 0.01 level, * means significance at 0.05 level, ns means no significance at 0.05 level.

不同播期处理对玉米产量及产量要素的影响达到显著水平(表 3)。单位面积穗数随播期推迟呈下降趋势，可能是由于 5 月 1 日播种处理灌溉了 1 次，而 5 月 15 日和 5 月 30 日播种处理没有灌溉造成的土壤水分差异所致。对于穗粒数来说，5 月 15 日播种处理最高，其次为 5 月 30 日播期处理，5 月 1 日播期处理最低，这主要与抽雄期降水和辐射有关^[24]。5 月 1 日、5 月 15 日和 5 月 30 日播种处理的开花期分别在 7 月 15 日、7 月 22 日和 8 月 2 日左右，而在这段时期，7

月 12 日、14 日、15 日和 20 日均有降水，7 月 21 日到 8 月 1 日之间没有降水，8 月 1 日、2 日和 6 日有降水，8 月 1 日的降水为 51.3mm。5 月 15 日播期处理的开花期受降水影响较小，所以穗粒数较多。百粒重在 5 月 1 日播种和 5 月 15 日播种处理下差异不大，而 5 月 30 日播种处理的百粒重显著高于前两个播期处理($P<0.05$)，这与路海东等^[25]的研究结果不同。可能主要是受温度影响，玉米灌浆期适宜温度为 22~24 °C，高温同样对灌浆不利^[11,26]。5 月 1 日播期处理的灌浆

期出现在 7 月下旬, 5 月 15 日处理的灌浆期出现在 8 月上旬, 这段时间是温度最高时期, 7 月下旬和 8 月上旬的日均温度达 28.7 °C 和 28.1 °C。5 月 30 日播期处理的灌浆期主要在 8 月中下旬, 该时期的日平均温度为 24.0~26.0 °C, 利于灌浆。对于不同品种来说, 其穗数在各个播期处理下没有显著差异, 而穗粒数和百粒重在各个播期下均有所差异, 其中百粒重的差异更加显著($P<0.05$)。

2.3 播期对不同品种春玉米水分利用效率的影响

播期对不同品种春玉米耗水量和水分利用效率(WUE)的影响结果见表 4。研究区春玉米耗水量为 398.7~431.8 mm, WUE 为 1.83~2.71 kg·m⁻³。不同播期

对不同春玉米的耗水量没有显著差异, 品种间的耗水量也不存在显著差异。这主要与玉米生长阶段的降水量关系较大, 5 月 1 日、5 月 15 日和 5 月 30 日不同播期下的降水量分别为 429.9 mm、406.9 mm 和 402.6 mm。不同播期和不同品种的玉米耗水量与降水量基本一致。从播期对 WUE 的影响来看, 5 个品种的 WUE 均随播期推迟呈显著增加趋势, 这主要是由于随着播期的推迟玉米产量增加而耗水量变化不大所致。不同品种的 WUE 也存在显著差异, 这主要是因为以降水为主要水源情况下, 不同春玉米品种不同播期下耗水量无显著差异, WUE 的差异主要与品种生长特性及遗传特性相关, 产量高的品种 WUE 高。

表 4 播期对不同春玉米品种耗水及水分利用效率的影响

Table 4 Effect of sowing date on water consumption and water use efficiency of different cultivars of spring maize

品种 Cultivar	播种期(月-日) Sowing date (month-day)							
	05-01	05-15	05-30	平均 Average	05-01	05-15	05-30	平均 Average
	耗水量 Water consumption (mm)				水分利用效率 Water use efficiency (kg·m ⁻³)			
华农 887 HN887	414.5±10.2ns	402.9±12.3ns	415.7±12.3ns	411.0	2.54±0.24a	2.30±0.13a	2.24±0.12b	2.36
胡新 338 HX338	410.2±12.3ns	407.5±13.2ns	409.8±11.7ns	409.2	2.11±0.21ab	2.20±0.11ab	2.65±0.21a	2.32
郑单 958 ZD958	402.7±8.5ns	398.7±11.2ns	412.3±8.9ns	404.6	1.83±0.15b	2.07±0.08b	2.71±0.19a	2.21
华农 866 HN866	420.9±6.7ns	412.7±7.9ns	408.7±9.7ns	414.1	2.48±0.19a	2.21±0.12ab	2.40±0.13ab	2.36
联创 1 号 LC1	431.8±11.4ns	404.2±8.9ns	421.1±6.8ns	419.0	2.07±0.17ab	2.43±0.16a	2.42±0.15ab	2.31
平均 Average	416	405.2	413.5		2.21	2.24	2.48	

表中同列不同小写字母表示不同品种间差异达 0.05 显著水平, ns 表示无显著性差异。Values followed by different letters within a column are significantly different at 0.05 level. ns shows no significant difference at 0.05 level.

2.4 不同播期下春玉米产量构成与环境因子的相关分析

由于不同播期下春玉米产量间存在较大差异, 而不同播期影响产量的主要是气象因子的变化, 因此利用不同播期下 5 个玉米品种的平均产量和产量构成要素与不同播期的气象因子进行分析, 结果见表 5。不同播期的产量与抽雄前降水量、抽雄后降水量和抽雄前积温均呈显著相关关系($P<0.05$), 其中与抽雄后降水量呈显著负相关关系。百粒重与抽雄前降水量、抽雄后降水量、抽雄前积温和抽雄后积温均呈显著相关关系($P<0.05$), 其中与抽雄后降水量呈显著负相关关系, 说明后期过多的降水会影响玉米灌浆过程。穗粒数与

气象因子之间均没有显著相关关系, 这与路海东等^[25]的研究结果相似而与刘明等^[16]的研究结果不同, 这主要与降水年型和播期的差异有关。密度与环境因子之间没有显著相关关系, 说明土壤水分在达到一定程度后能保证出苗, 进而对产量及产量各要素影响不大。播种时土壤含水量的变化与产量没有显著相关关系, 这主要是由于播前土壤含水量达到一定程度后能够保证正常出苗, 不影响密度的形成, 而苗期后进入雨季, 其对穗粒数和粒重不会产生影响。抽雄期后的降水与产量、百粒重均呈负显著相关关系, 说明后期降水及阴天较多, 辐射较少会对百粒重有较大的影响, 进而影响产量。

表 5 不同播期春玉米产量及构成要素与环境因子的相关关系

Table 5 Correlation between spring maize yield, yield components and environmental factors under different sowing dates

产量及产量要素 Yield and its' components	抽雄前降水 Precipitation before tasselling	抽雄后降水 Precipitation after tasselling	抽雄前积温 Accumulated temperature before tasselling	抽雄后积温 Accumulated temperature after tasselling	播种前土壤含水量 Soil moisture before sowing
产量 Yield	0.612*	-0.613*	0.529*	0.312	-0.325
百粒重 100-grain weight	0.729**	-0.730**	0.657**	0.520*	-0.433
穗粒数 Grains per spike	0.170	-0.169	-0.148	-0.245	-0.493
密度 Density	-0.391	0.390	-0.286	-0.232	0.461

*和**分别表示在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平显著相关。* and ** mean significant correlations at $P<0.05$ and $P<0.01$ levels, respectively.

3 讨论

3.1 不同播期春玉米对气候的适应性

春玉米对播期的适应性较强,在华北地区春玉米的播期可以从4月下旬到6月上旬。许多研究表明对玉米穗粒数影响最大的时期是吐丝期,对粒重影响最大的时期是灌浆期^[11]。确定合理播期提高产量的关键是如何提高穗粒数和粒重,而影响这两个因素的主要环境因素是温度和降水。Lobell等^[27]分析了美国极端温度对玉米生产的影响,ORDÓÑEZ等^[28]报道玉米开花和灌浆前期的高温会影响玉米对氮素的吸收进而影响玉米的生长和产量。这些学者的研究表明,当日均温度大于30℃时,玉米散粉和后期的灌浆会受到影响进而影响产量。在本研究区域5月15日前播种的玉米散粉期一般发生在7月中下旬,这段时间是一年中温度最高时期,7月下旬的日均温度达28.70℃。因此,避开春玉米散粉和灌浆初期的高温是保证产量的主要因素。同时,该区域受季风气候的影响,60%的降水多分布在7、8月份^[29],春季干旱是该区发生频率较高的灾害之一。播期越早春玉米受旱的可能性越大,进而影响其营养生长阶段的生长并影响后期生长和产量。灌浆期的辐射是影响玉米灌浆的主要因素。孙宏勇等^[30]研究表明,灌浆期辐射量会对粒重产生重要影响,因而灌浆期也需避开阴雨寡照的时期,即降水较多的时期。播期的差异影响了春玉米的生育期进程,而不同的生育期进程受气象条件的影响,不同阶段的气象因素通过影响穗粒数和粒重进而影响产量。本文通过早作下3个春玉米播期的研究结果表明,5月30日播期处理的产量和水分利用效率等表现最好,主要是因为其在抽雄散粉期能够避开降水的高发期,同时灌浆期能避开高温的高发期。本文仅用3个播期处理的1年试验数据,其结果有待深入研究,应该拓宽播期的范围,还要结合多年的降水和温度的变化进行合理分析,可根据玉米生长早期的需水量和降水发生率及散粉期和灌浆初期易受高温胁迫的情况确定适宜播期。

3.2 不同春玉米品种对环境的适应性

不同熟期和基因型春玉米以及不同生态地区环境气候条件和管理措施等均会对玉米籽粒灌浆特性产生影响,不同熟期玉米品种的灌浆速率存在显著差异,其与温度也存在显著的相关关系^[30-32]。不同玉米品种受自身遗传特性的影响,其生育期和外观

表型均存在明显的差异。同时,不同春玉米品种由于自身的遗传特性不同及适宜的气候类型区存在一定差异,其对播期的适应性存在明显差异,进而产量表现不同。不同春玉米品种在产量方面的差异主要表现为其对气候的适应性不同,且在不同阶段对温度、水分和光照的敏感性不同,进而影响其穗粒数和粒重的形成过程。再有,由于叶片形状、根系等差异,不同玉米品种对密度的适应性也不同,在不同种植密度下使冠层结构和群体特征产生差异,进而影响不同春玉米品种的光合作用和产量。因此,选择区域内审定的品种具有较强的气候生态适应性。同时,春玉米品种选择需要与不同熟期品种相结合,应该综合考虑气象环境因素和品种本身遗传特性适应环境的特点进而选择适宜品种。本文研究得出的‘华农866’和‘华农877’2个玉米品种,是基于1年的田间试验得出,仍需要对更多的本地审定的玉米品种进行不同气候年型下病虫害发生率、产量稳定性等综合的表现评价,进而推荐综合抗逆性强、资源利用效率高和高产稳产优质的品种。

4 结论

通过3个播期5个春玉米品种的田间试验结果分析可以看出,在华北平原区随着播期的推迟,生育期天数呈减少趋势,5月30日播种处理的生育期天数分别比5月15日和5月1日播种处理的生育期天数缩短2.8d和7.4d,而生育期天数减少主要发生在从播种到抽雄期这段时间,5月30日播种处理从播种到抽雄期的生育期天数分别比5月15日和5月1日播种处理缩短5.6d和13.0d,这是由于生育期进程主要受积温影响造成的。不同品种对播期的适应性也不同,在不同播期下品种的产量变异系数也存在显著差异,5月1日、5月15日和5月30日播种处理下不同品种产量的变异系数分别为14.41%、6.33%和7.34%,这主要是与其遗传特性和抗逆特性相关。同时,主要受产量增加的影响,春玉米的水分利用效率随播期的推迟也呈增加趋势。通过气象等环境因子与产量要素的相关分析表明:抽雄前的积温和抽雄前后的降水是决定该区域春玉米产量形成的主要因素,而粒重主要与抽雄前后积温和降水均存在显著的相关关系,穗粒数和密度受这些因素影响较小。通过产量、耗水和水分利用效率的综合考虑,5月30日左右是该区域春玉米适宜的播种时期。从产量和水分利用效率综合表现来看,‘华农866’和‘华农877’是比较适宜的品种。

参考文献 References

- [1] 李少昆, 赵久然, 董树亭, 等. 中国玉米栽培研究进展与展望[J]. 中国农业科学, 2017, 50(11): 1941-1959
LI S K, ZHAO J R, DONG S T, et al. Advances and prospects of maize cultivation in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(11): 1941-1959
- [2] 范兰, 吕昌河, 于伯华, 等. 华北平原小麦-玉米两作生产潜力与产量差[J]. 中国农学通报, 2016, 32(9): 33-40
FAN L, LYU C H, YU B H, et al. Yield potential and yield gap of wheat-maize cropping system in the North China Plain[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(9): 33-40
- [3] Sun H Y, Zhang X Y, Wang E L, et al. Assessing the contribution of weather and management to the annual yield variation of summer maize using APSIM in the North China Plain[J]. Field Crops Research, 2016, 194: 94-102
- [4] 向英, 韦德斌, 费永红, 等. 不同基因型玉米品种适宜种植密度的研究[J]. 广西农学报, 2016, 31(1): 4-8
XIANG Y, WEI D B, FEI Y H, et al. Research on suitable planting density of maize with different genotypes[J]. Journal of Guangxi Agriculture, 2016, 31(1): 4-8
- [5] 刘梅, 吴广俊, 路笃旭, 等. 不同年代玉米品种氮素利用效率与其根系特征的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(1): 71-82
LIU M, WU G J, LU D X, et al. Improvement of nitrogen use efficiency and the relationship with root system characters of maize cultivars in different years[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2017, 23(1): 71-82
- [6] 程乙, 王洪章, 刘鹏, 等. 品种和氮素供应对玉米根系特征及氮素吸收利用的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(12): 2259-2269
CHENG Y, WANG H Z, LIU P, et al. Effect of different maize varieties and nitrogen supply on root characteristics and nitrogen uptake and utilization efficiency[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(12): 2259-2269
- [7] 张召星, 肖春华, 邹楠, 等. 玉米品种高产稳产的综合评价研究[J]. 石河子大学学报: 自然科学版, 2017, 35(4): 425-430
ZHANG Z X, XIAO C H, ZOU N, et al. Comprehensive evaluation of high and stable yield of maize varieties[J]. Journal of Shihezi University: Natural Science, 2017, 35(4): 425-430
- [8] 柯福来, 马兴林, 黄瑞冬, 等. 高产玉米品种的产量结构特点及形成机制[J]. 玉米科学, 2010, 18(2): 65-69
KE F L, MA X L, HUANG R D, et al. Characteristics of yield components and formation mechanism of high-yield maize hybrids[J]. Journal of Maize Sciences, 2010, 18(2): 65-69
- [9] 王玉芬, 李娟, 路战远, 等. 玉米高产品种光合特性及抗氧化系统对水分胁迫的响应[J]. 华北农学报, 2015, 30(6): 97-104
WANG Y F, LI J, LU Z Y, et al. Responses of water stress on photosynthetic trait and antioxidation system in two high-yield maize cultivars[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2015, 30(6): 97-104
- [10] 李潮海, 苏新宏, 谢瑞芝, 等. 超高产栽培条件下夏玉米产量与气候生态条件关系研究[J]. 中国农业科学, 2001, 34(3): 311-316
LI C H, SU X H, XIE R Z, et al. Study on relationship between grain-yield of summer corn and climatic ecological condition under super-high-yield cultivation[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2001, 34(3): 311-316
- [11] TSIMBA R, EDMEADES G O, MILLNER J P, et al. The effect of planting date on maize grain yields and yield components[J]. Field Crops Research, 2013, 150: 135-144
- [12] 李绍长, 白萍, 吕新, 等. 不同生态区及播期对玉米籽粒灌浆的影响[J]. 作物学报, 2003, 29(5): 775-778
LI S C, BAI P, LYU X, et al. Ecological and sowing date effects on maize grain filling[J]. Acta Agronomica Sinica, 2003, 29(5): 775-778
- [13] 李向岭, 李从锋, 侯玉虹, 等. 不同播期夏玉米产量性能动态指标及其生态效应[J]. 中国农业科学, 2012, 45(6): 1074-1083
LI X L, LI C F, HOU Y H, et al. Dynamic characteristics of summer maize yield performance in different planting dates and its effect of ecological factors[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(6): 1074-1083
- [14] 张宁, 杜雄, 江东岭, 等. 播期对夏玉米生长发育及产量影响的研究[J]. 河北农业大学学报, 2009, 32(5): 7-11
ZHANG N, DU X, JIANG D L, et al. Effect of sowing date on growth and yield of summer corn (*Zea mays* L.)[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2009, 32(5): 7-11
- [15] 马国胜, 薛吉全, 路海东, 等. 播种时期与密度对关中灌区夏玉米群体生理指标的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(6): 1247-1253
MA G S, XUE J Q, LU H D, et al. Effects of planting date and density on population physiological indices of summer corn (*Zea mays* L.) in central Shaanxi irrigation area[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(6): 1247-1253
- [16] 刘明, 陶洪斌, 王璞, 等. 播期对春玉米生长发育与产量形成的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(1): 18-23
LIU M, TAO H B, WANG P, et al. Effect of sowing date on growth and yield of spring-maize[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2009, 17(1): 18-23
- [17] 王锴, 王克如, 王永宏, 等. 密度对玉米产量(>15000 kg·hm⁻²)及其产量构成因子的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(16): 3437-3445
WANG K, WANG K R, WANG Y H, et al. Effects of density on maize yield and yield components[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(16): 3437-3445
- [18] 李向岭, 李从锋, 葛均筑, 等. 播期和种植密度对玉米产量性能的影响[J]. 玉米科学, 2011, 19(2): 95-100
LI X L, LI C F, GE J Z, et al. Effects of planting date and planting density on yield performance of maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2011, 19(2): 95-100
- [19] 刘战东, 肖俊夫, 于景春, 等. 春玉米品种和种植密度对植株性状和耗水特性的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(11): 125-131
LIU Z D, XIAO J F, YU J C, et al. Effects of varieties and planting density on plant traits and water consumption char-

- acteristics of spring maize[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(11): 125–131
- [20] LIU C M, ZHANG X Y, ZHANG Y Q. Determination of daily evaporation and evapotranspiration of winter wheat and maize by large-scale weighing lysimeter and micro-lysimeter[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2002, 111(2): 109–120
- [21] 李文科, 薛庆禹, 王靖, 等. 播期对吉林春玉米生长发育及产量形成的影响[J]. 玉米科学, 2013, 21(5): 81–86
LI W K, XUE Q Y, WANG J, et al. Effect of sowing date on the growth, development and yield formation of spring-maize in Jilin Province[J]. Journal of Maize Sciences, 2013, 21(5): 81–86
- [22] 杨国虎, 李建生, 罗湘宁, 等. 干旱条件下玉米叶面积变化及地上干物质积累与分配的研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2005, 33(5): 27–32
YANG G H, LI J S, LUO X N, et al. Studies on leaf area change and above-ground dry material accumulation and distribution of maize in different droughts[J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: Natural Science Edition, 2005, 33(5): 27–32
- [23] 王思思. 干旱对我国不同年代玉米杂交种苗期生理特性的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2009: 10–12
WANG S S. Effect of drought on physiological characters of maize cultivars in different eras in China during seeding stage[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2009: 10–12
- [24] 苏玉杰, 周景春, 张存岭. 濰溪县气象因子与夏玉米产量关系分析[J]. 农业灾害研究, 2015, 5(8): 49–51
SU Y J, ZHOU J C, ZHANG C L. Analysis of relationships between meteorological factors and summer corn output in Suixi County[J]. Journal of Agricultural Catastrophology, 2015, 5(8): 49–51
- [25] 路海东, 薛吉全, 郝引川, 等. 播期对雨养旱地春玉米生长发育及水分利用的影响[J]. 作物学报, 2015, 41(12): 1906–1914
LU H D, XUE J Q, HAO Y C, et al. Effects of sowing time on spring maize (*Zea mays* L.) growth and water use efficiency in rainfed dryland[J]. Acta Agronomica Sinica, 2015, 41(12): 1906–1914
- [26] 张宏明, 曲曼丽, 马秀玲. 温度条件对夏玉米籽粒灌浆的作用及与发育速度的关系[J]. 中国农业气象, 1979, (1): 68–73
ZHANG H M, QU M L, MA X L. The effect of temperature on grain filling and its relationship with the developing rate of summer maize[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 1979, (1): 68–73
- [27] LOBELL D B, HAMMER G L, MCLEAN G, et al. The critical role of extreme heat for maize production in the United States[J]. Nature Climate Change, 2013, 3(5): 497–501
- [28] ORDÓÑEZ R A, SAVIN R, COSSANI C M, et al. Yield response to heat stress as affected by nitrogen availability in maize[J]. Field Crops Research, 2015, 183: 184–203
- [29] SUN H Y, SHEN Y J, YU Q, et al. Effect of precipitation change on water balance and WUE of the winter wheat-summer maize rotation in the North China Plain[J]. Agricultural Water Management, 2010, 97(8): 1139–1145
- [30] 孙宏勇, 张喜英, 陈素英, 等. 气象因子变化对华北平原夏玉米产量的影响[J]. 中国农业气象, 2009, 30(2): 215–218
SUN H Y, ZHANG X Y, CHEN S Y, et al. Effect of meteorological factors on grain yield of summer maize in the North China Plain[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2009, 30(2): 215–218
- [31] 王晓慧, 张磊, 刘双利, 等. 不同熟期春玉米品种的籽粒灌浆特性[J]. 中国农业科学, 2014, 47(18): 3557–3565
WANG X H, ZHANG L, LIU S L, et al. Grain filling characteristics of maize hybrids differing in maturities[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(18): 3557–3565
- [32] 钱春荣, 王荣焕, 赵久然, 等. 不同熟期玉米品种的籽粒灌浆特性及其与温度关系研究[J]. 中国农业科技导报, 2017, 19(8): 105–114
QIAN C R, WANG R H, ZHAO J R, et al. Study on the grain filling characteristics and their relationship with temperature of maize hybrids differing in maturities[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2017, 19(8): 105–114