

播期、收获期对玉米生长发育及冠层性状的调控

吕丽华, 梁双波, 张丽华, 贾秀领, 张 晓

(河北省农林科学院粮油作物研究所/农业部华北地区作物栽培科学观测实验站, 石家庄 050035)

摘 要: 采用均匀试验设计, 研究 6 个播期配合 6 个收获期对郑单 958 和伟科 702 生长发育、株型结构和产量性状的影响, 通过播期、收获期调控实现高产。结果表明, 冀中地区 6 月 12 日前播种, 玉米抽雄和吐丝持续时间更为集中, 播期每推迟 3 d, 抽雄和吐丝日期后推 1 d; 继续推迟播期, 抽雄和吐丝日期后推 4~5 d。2014 年 6 月 12 日播种处理吐丝期冠层温度最高, 不利于玉米授粉; 6 月 15 日后播种穗位叶 SPAD 值降低, 尤其是生育后期伟科 702 叶片 SPAD 值降低幅度较大。播期对株高、穗位高和基部茎粗影响较大, 播期与收获期对产量及其构成影响均显著, 穗粒数随播期推迟而降低, 千粒重随生育期延长而提高。经回归分析得出, 夏玉米每提早播种 1 d, 产量平均增加 98.4 kg/hm²; 每推迟收获 1 d, 平均增产 103.3 kg/hm²。郑单 958 获得较高产量的播期、收获期最佳组合为 6 月 6 日至 6 月 12 日播种, 10 月 4 日至 10 日收获。

关键词: 夏玉米; 播期; 冠层温湿度; 产量

中图分类号: S513.047

文献标识码: A

Effects of Planting and Harvest Date on Growth and Development and Canopy Traits of Summer Maize

LÜ Li-hua, LIANG Shuang-bo, ZHANG Li-hua, JIA Xiu-ling, ZHANG Xiao

(Institute of Cereal and Oil Crops, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences,

Scientific Observing and Experimental Station of Crop Cultivation in North China,

Ministry of Agriculture P. R. China, Shijiazhuang 050035, China)

Abstract: The experiment with six planting date combining six harvest date of cultivar in the field having medium soil fertility was conducted, to study the effect of different planting and harvest date on growth and development, canopy traits and yield of summer maize. The objective to achieve high yield when early sowing and delayed harvest for different cultivars. The results showed that tasseling and silking date could be delayed by 1 day when the planting date was delayed for three day if sowing before 12 June, and be delayed by 4–5 day if sowing after 12 June in the central part of Hebei. The tasseling and silking duration was obvious shortened when sowing before in June 12th compared with the treatments of delayed sowing date, and canopy temperature of silking stage is higher for sowing in June 12th, 2014, and the higher temperature is not conducive to the maize pollination. Ear leaf SPAD decreased when the sowing date postponed to June 15th, and value of SPAD is greatly reduced for Weike702 at late growth stage. The effects of sowing period on plant height, ear position height and basal stem diameter were obvious. Planting and harvest date can strongly affect grain yields and yield components, and grain number per spike increased with the delayed sowing date, 1 000-grain weight was significantly higher for early sowing + late harvest treatments. Every early sowing for 1 days or delayed harvest 1 day, the average yield increased 98.4 kg/ha or increased 103.3 kg/ha. For achieved high yield, the optimum combination was in June 6th to June 12th sowing and in October 4th to October 10th harvest.

Key words: Summer maize; Planting date; Canopy temperature and humidity; Yield

收稿日期: 2015-06-11

基金项目: 河北省财政项目博士基金(F14E055609)、农业部公益性行业科研专项(201203100)、国家科技支撑计划(2011BAD29B01)

作者简介: 吕丽华(1977-), 女, 河北衡水景县人, 博士, 助研, 主要从事作物高产及资源高效利用研究。

Tel: 0311-87670620 E-mail: nkyllh@163.com

梁双波和贾秀领为本文通讯作者。

河北省位于黄淮海平原北部,光热资源严重不足,粮食主产区年 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温 $4\,400\sim 5\,050^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,比山东、河南省少 $500\sim 900^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,冬小麦-夏玉米一年两熟轮作制茬口衔接紧张,玉米成熟度不够是普遍存在的问题。适宜播期是夏玉米充分利用有利光热资源的条件保障,也是实现玉米高产的必要条件^[1-3]。

作物冠层结构因栽培措施不同而表现出差异,并与其光能利用和产量形成关系密切^[4-6]。生产中常通过调整株型来影响冠层结构,从而改善光的有效截获^[7],提高群体生产力。播期通过影响玉米生育期内光、热、水等气候要素,改变作物群体结构,使玉米生长发育及产量形成表现出较为显著的差异^[8-12]。研究表明,随播期推迟,玉米株高、穗位高降低,茎秆变粗,抗倒能力增强,群体叶面积指数表现出较大的差异,穗粒数和千粒重逐渐减少,产量也随之降低^[13,14]。

关于相同播期下不同收获期对玉米冠层结构及产量影响的研究已有很多报道^[15-20]。不同播期配合不同收获期以得到早播及延迟收获对玉米产量影响的研究较少,本试验通过设计6个播期配合6个收获期,研究其对夏玉米冠层及产量性状的影响,通过播

期、收获期调控,构建高产冠层,得到较高产量品种播期与收获期的最佳组合。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2014年河北省农林科学院粮油作物研究所藁城堤上试验站进行,该区属华北平原太行山山前平原区(东经 $116^{\circ}85'$,北纬 $38^{\circ}41'$),年均降雨量 484 mm 。试验地 $0\sim 20\text{ cm}$ 土壤含有机质 1.55% ,全氮 0.097% ,全磷 0.22% ,碱解氮 72.7 mg/kg ,有效磷 19.5 mg/kg ,有效钾 91.0 mg/kg 。

试验为播期与收获期2因子试验,采用均匀试验设计方法,试验材料选用伟科702和郑单958,种植密度为 7.59 万株/hm^2 ,人工点播,小区面积 48 m^2 ,行距 60 cm 。4次重复,小区采用完全随机排列。底肥和追肥均选用复合肥(N:P:K=15:5:25),沟施,氮肥用量为 $\text{N }135\text{ kg/hm}^2$,磷肥用量 $\text{P}_2\text{O}_5\text{ }45\text{ kg/hm}^2$ 、钾肥 $\text{K}_2\text{O }225\text{ kg/hm}^2$,分别于播前和大喇叭口期按1:1施用。播后进行一次灌溉,其余生育期未进行灌溉,各处理生育期间降水量和积温见表1。

表1 试验设计及气候条件
Table 1 Test design and meteorological factors

播种日期(m·d) Planting date	收获日期(m·d) Harvest date	生育天数(d) Growth days	降水量(mm) Precipitation	积温($^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$) Accumulated temperature
6·06	10·04	120	244.9	3 036.2
6·09	9·28	111	238.5	2 864.3
6·12	10·10	120	246.3	2 978.7
6·15	9·25	100	238.5	2 632.7
6·18	10·07	111	246.3	2 762.6
6·21	10·01	102	233.1	2 595.2

1.2 测定项目和方法

抽雄、吐丝调查:每个处理选取2行内所有玉米植株,数取总株数,每天观察记录植株抽雄和吐丝日期,计算抽雄和吐丝比例。

叶面积:将玉米叶片分为3层,穗上叶层、棒三叶层(穗位叶、穗位上叶、穗位下叶)、穗下叶层,于吐丝期测定不同叶层叶面积,每个处理选定有代表性的植株4株,测定各叶片长、宽。

植株性状:分别于吐丝期和吐丝后25 d测定,每个处理选定有代表性的植株4株,测定穗位叶叶位、总叶片数、株高、穗位高、基部第一和第二节茎粗和节间长度。

冠层温湿度:采用冠层温湿度记录仪(ECA-SC10)于每个播期授粉之日起连续4 d测定穗位层冠层温度、冠层湿度和气温,计算平均冠层温湿度及气温。

穗位叶SPAD:采用SPAD-502叶绿素计于8月10日、8月16日、9月5日、9月10日和9月25日测定穗位叶SPAD值,每个重复测定6株。

产量及产量构成:每小区收获玉米3行(每行 10 m),称所有果穗总鲜重,按平均鲜穗重从所收果穗中随机选取20穗,测定穗粒数和千粒重,同时采用谷物水分测定仪测定含水率,计算实际产量(按14%折算含水率)。

1.3 数据分析

采用Microsoft Excel 2003程序录入和整理数据, SAS 6.12和DPS11.5统计软件进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 播期对夏玉米抽雄和吐丝时间的影响

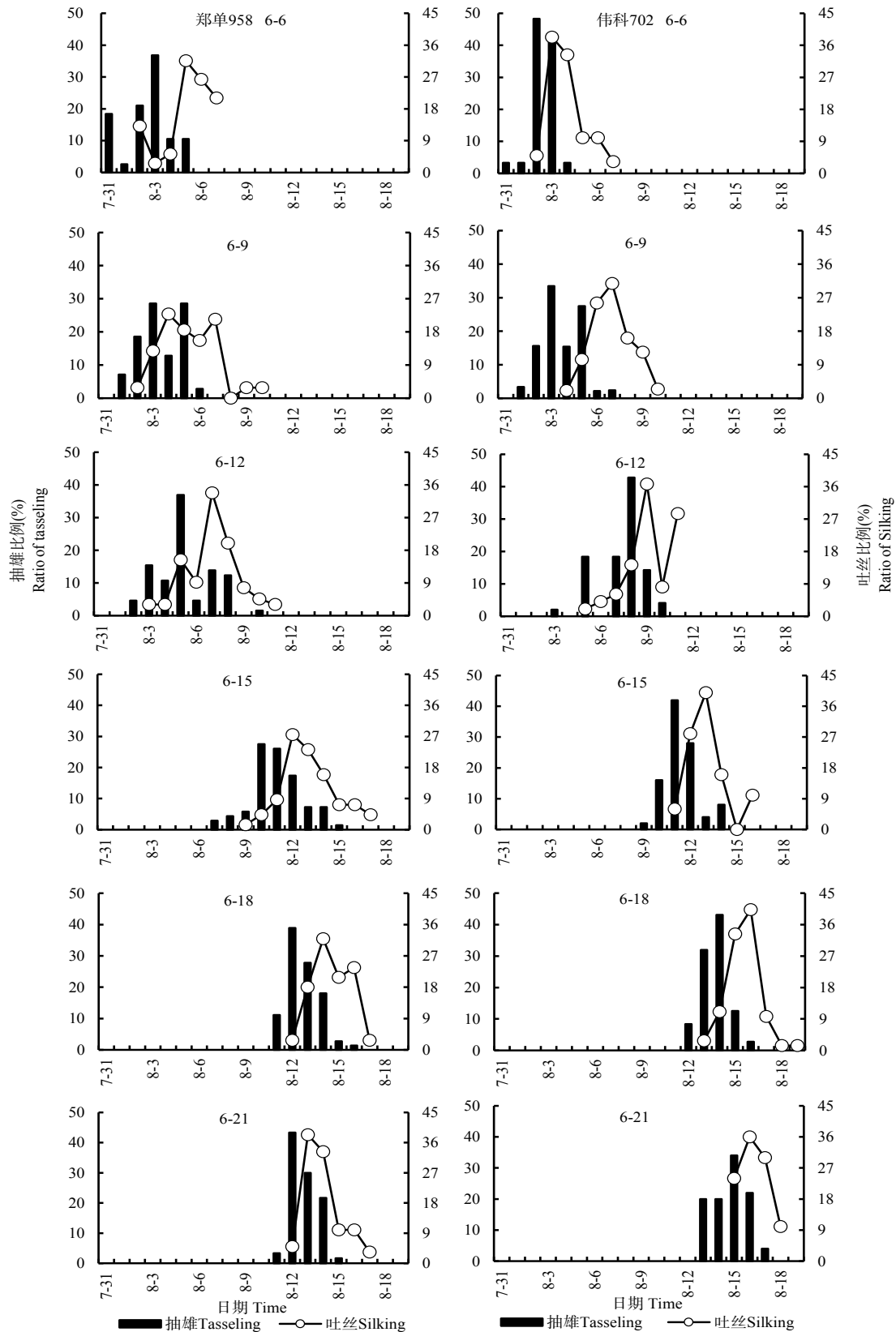


图1 播期对玉米抽雄吐丝时间的影响

Fig.1 Effect of different planting dates on interval number of days from tasseling to silking stage

不同播期对玉米抽雄和吐丝时间影响结果显示(图1),在6月12日前播种,播期每推迟3 d,两个玉米品种抽雄日期后推1 d;至6月18日播种每延后3 d播种,抽雄日期后推5 d;至6月21日播种抽雄时间变化不明显。在6月12日前播种,播期每推迟3 d,吐丝日期郑单958和伟科702分别后推1和2 d;至6月18日播种,每推迟3 d播种,吐丝日期后推4.5 d;至6月21日播种吐丝时间变化不明显。可见,2014年气候条件下在6月12日前播种对玉米抽雄和吐丝时间影响不大,但进一步推迟播期将明显延后抽雄和吐丝时间,使子粒灌浆期缩短,不利于子粒成熟。

由抽雄和吐丝持续天数可知,6月6日至6月9日播种,抽雄时间一般持续5~7 d;6月12日至6月15日播种,抽雄持续时间延长至8~9 d,郑单958和伟科702抽雄持续天数6个播期平均分别在7.0 d和6.5 d。吐丝持续时间两个玉米品种表现有所不同,对于郑单958早播(6月6日)和晚播(6月18日和21日)处理吐丝持续时间5~7 d,而其他播期持续时间9 d;对于伟科702,除6月21日播期外其他播期吐丝持续时间6~7 d,6个播期平均郑单958和

伟科702吐丝持续时间分别为7.5 d和6.2 d。在6月12日前播种可明显缩短抽雄的持续时间,在6月9日前播种可明显缩短吐丝持续时间。郑单958抽雄和吐丝的持续时间明显长于伟科702,分别长0.5和1.3 d。

2.2 播期对植株性状的影响

从叶型结构分析,伟科702叶面积受播期影响变化趋势较明显(图2),穗下叶组叶面积所占比例随播期推迟逐渐增加,极值相差8.3%;穗上叶组变化趋势受播期影响正好相反,极值相差9.8%;棒三叶则表现为6月6日和9日播种处理较高,其他播期间差别不大,说明对于伟科702推迟播期主要是减少了穗上叶组的叶面积,其次是棒三叶,而穗下叶组叶面积比例一定程度增加。郑单958不同分组叶面积比例变化趋势不明显,说明播期对于郑单958叶面积影响效应不明显,并且郑单958和伟科702各叶组比例变异系数分别为0.09和0.05,说明郑单958各分组叶片稳定性较好,其适应性强是稳产的重要原因之一。

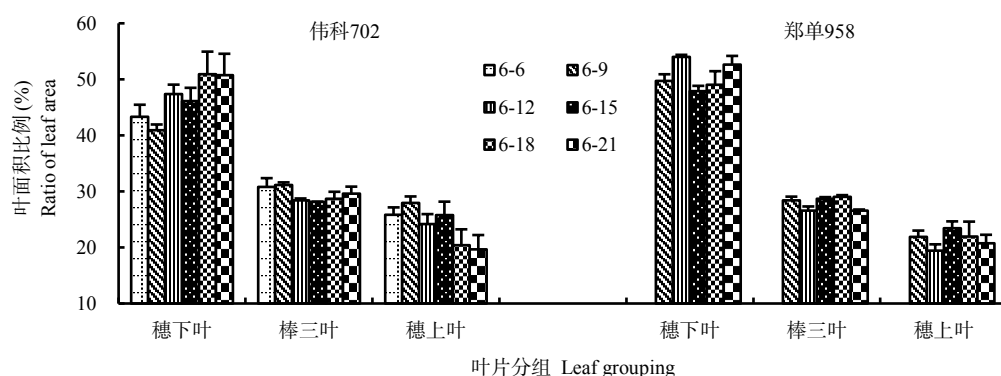


图2 播期对不同叶组叶面积比例的影响

Fig.2 Effect of different planting dates on leaf area ratio of different leaf layer

从植株性状分析(图3),郑单958和伟科702总叶片数大致相同,均为19片叶,并且播期对总叶片数影响不明显。穗位叶二者不同,郑单985穗位叶平均为第14片叶,而伟科702平均为第13叶,并且伟科702穗位叶叶位随播期推迟而增加。株高和穗位高均为晚播处理较高;基部第一和第二节长正好相反;基部茎粗为6月15日左右播种处理最粗,晚播后发生倒伏的几率增大。

2.3 播期对冠层温湿度影响

吐丝盛期前后连续4 d的冠层温湿度结果表明(图4),郑单958和伟科702在本试验播期条件下,吐丝期为8月4日至8月15日,在此期间随时间推迟,

各处理吐丝期气温和冠层温度呈先升后降的趋势,6月9日和6月12日播种处理吐丝期间冠层温度和气温较高,尤其是6月12日播种处理较其他处理平均冠层温度高2.8℃,气温平均高1.8℃,较高的温度不利于玉米开花授粉。冠层湿度表现出与冠层温度相反的变化趋势,为6月12日处理最低,仅54.6%;6月6日播种处理最高,为61.0%,说明2014年度吐丝期气候条件不适于6月12日播种处理的玉米授粉。

2.4 播期对叶片叶绿素SPAD值的影响

分析吐丝至成熟期穗位叶SPAD值的变化趋势可知(图5),在9月10日前穗位叶SPAD值大致相当,之后叶片逐渐衰老,SPAD值降低。在9月10日前

叶片 SPAD 值基本表现为 6 月 6 日至 6 月 15 日播种处理较高,较其他处理平均高 4.8%;9 月 10 日后伟科 702 则表现为晚播处理 SPAD 值较高,郑单 958 变化趋势不明显。夏玉米 6 月 15 日前播种生育中前期各处理叶片叶绿素含量变化不大,但继续推迟播

期叶绿素含量明显降低。两个玉米品种比较,成熟期(9 月 25 日)较吐丝期至灌浆中期叶片 SPAD 值降低幅度伟科 702 和郑单 958 分别为 12.5%和 10.7%,伟科 702 叶片 SPAD 值降低幅度较大。

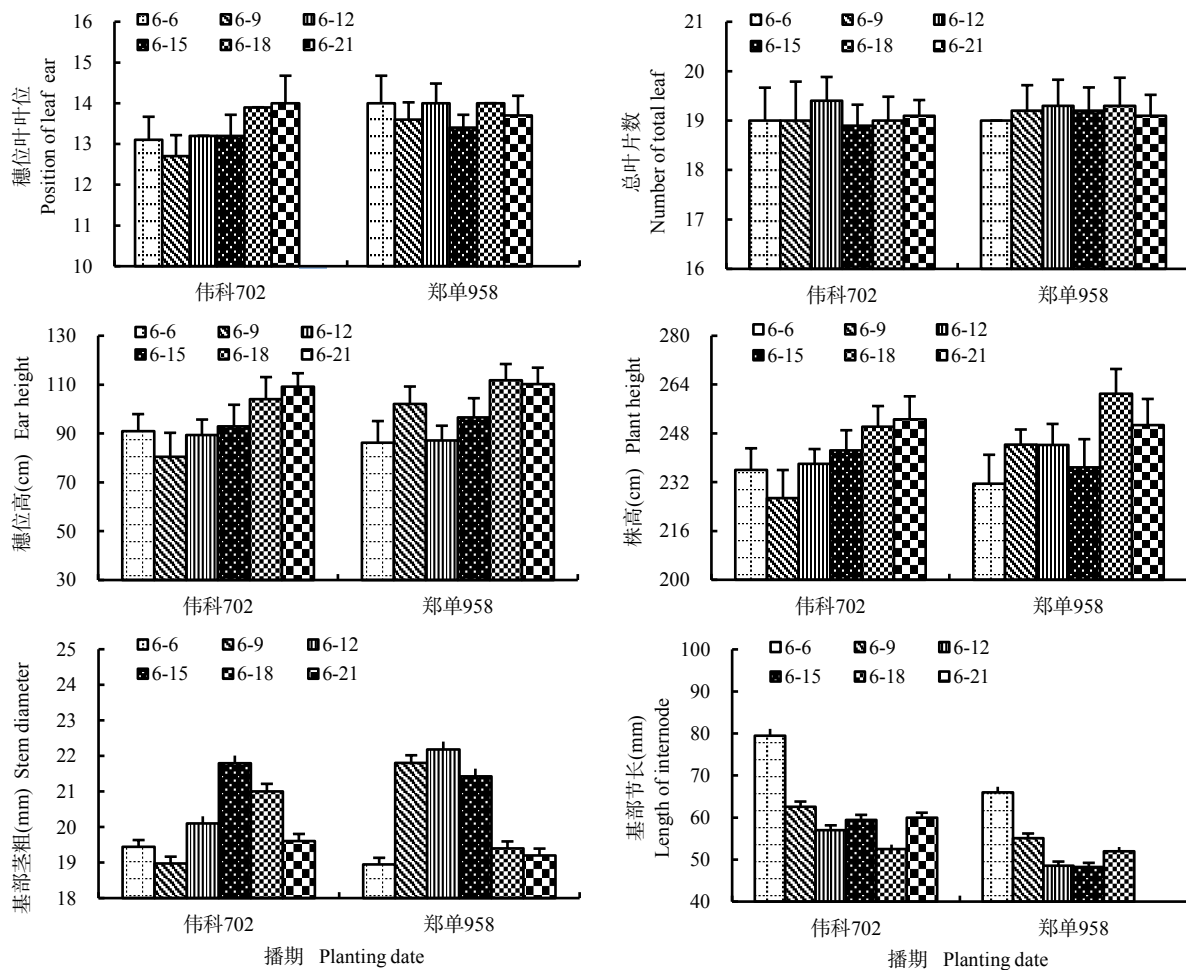


图3 播期对植株性状的影响

Fig.3 Effect of different planting dates on plant characters

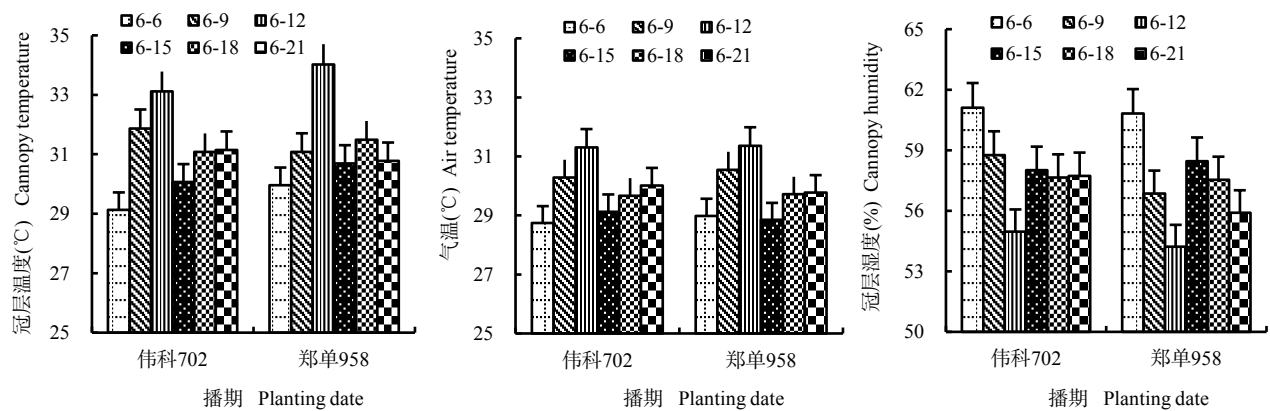


图4 不同播期下穗位层温湿度变化

Fig.4 Change trends of temperature and humidity for ear layer under different planting dates

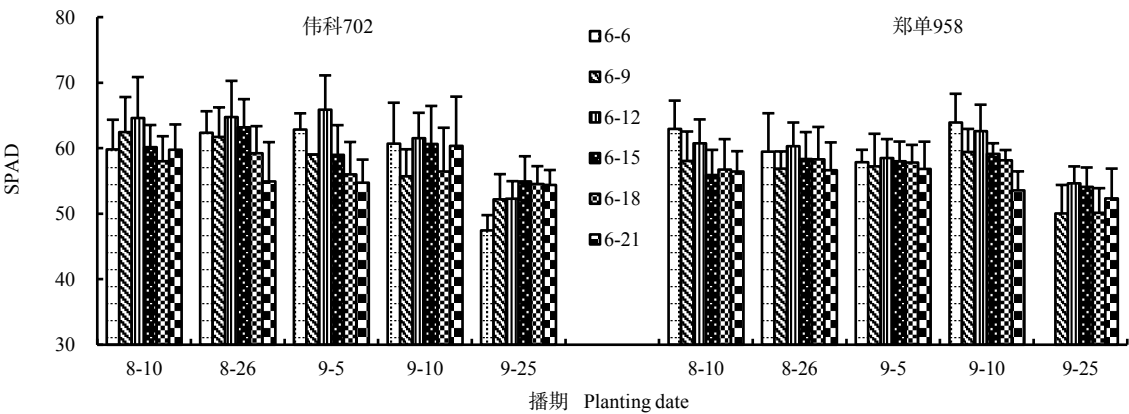


图5 播期对穗位层 SPAD 值的影响

Fig.5 Effect of different planting dates on leaf SPAD for ear layer

2.5 播期对夏玉米产量及产量构成的影响

由表 2 可见,两个玉米品种穗粒数随播期推迟呈显著降低的趋势,伟科 702 表现为 6 月 9 日播种处理、郑单 958 表现为 6 月 6 日和 6 月 9 日播种处理穗粒数较高,两个品种穗粒数分别比其他处理平均高 11.1%和 12.1%;千粒重主要与生育期长短有关,伟科 702 表现为 6 月 6 日、6 月 9 日、6 月 12 日和 6 月 18 日处理较高,郑单 958 表现为 6 月 6 日、6 月 12 日和 6 月 18 日处理较高,两个品种千粒重分别比其他处理高 7.7%和 7.8%。产量变化趋势与千粒重基本一致,基本表现为随生育期延长产量增加,6 月 6 日、6 月 9 日、6 月 12 日和 6 月 18 日播种处理产量较高,

与其他播期处理相比,两个品种产量分别增加了 19.1%和 13.2%,差异较明显,说明延长生育期情况下灌浆时间变长,干物质积累量增加,千粒重和产量增加。

本年度玉米播期与收获期对产量影响均显著。采用逐步回归统计分析,结果表明,本试验条件下玉米产量(y)与播期(x_1)与收获期(x_2)呈线性关系,可用 $y=-13\ 425.365-6.563x_1+6.887x_2(R=0.835\ 2^{**})$ 表示,拟合方程达极显著水平,表明夏玉米每提早播种 1 d,产量平均增加 98.4 kg/hm²;每推迟收获 1 d,平均增产 103.3 kg/hm²,表明适时早播,延迟收获时间是提高玉米产量的重要途径。

表 2 播期和收获期对夏玉米产量性状的影响

Table 2 Yield characters of summer maize under different planting date

品 种 Cultivar	播种日期(月·日) Planting date	穗数(10 ⁴ 穗/hm ²) Ear number	穗粒数 Grain number per ear	千粒重(g) 1 000-grain weight	产量(kg/hm ²) Yield
伟科 702	6·06	7.59	490.3 b	290.0 b	10 131.0 a
	6·09	7.59	517.3 a	281.9 b	9 891.1 a
	6·12	7.59	482.5 b	299.7 a	9 942.0 a
	6·15	7.59	447.0 c	273.7 c	7 899.1 c
	6·18	7.59	479.8 bc	304.5 a	9 850.0 a
	6·21	7.59	426.8 d	269.0 c	8 203.5 b
郑单 958	6·06	7.59	507.4 a	302.2 a	10 985.9 a
	6·09	7.59	496.7 ab	283.2 c	10 042.9 ab
	6·12	7.59	480.7 c	291.5 ab	10 177.8 ab
	6·15	7.59	443.4 d	264.7 d	8 393.2 d
	6·18	7.59	434.6 e	309.4 a	9 987.9 ab
	6·21	7.59	432.7 e	284.4 c	9 477.7 c

3 讨论与结论

在全球气候大环境改变的前提下如何充分利用

生态条件,趋利避害,将作物的生育期置于有利的气候条件中,播期的选择是关键因素。大量研究表明,穗粒数是产量构成三因素中变幅最大的,也是受播

期影响波动较大的因子。开花授粉期间适宜的温湿度条件是穗粒数提高的重要保障,若开花散粉期长期阴雨、湿度大,花粉易膨胀而丧失活力,影响授粉造成缺粒,授粉最适宜的相对湿度为66%~86%。开花散粉期间温度较高(32℃~35℃),花粉失水干枯,生活能力降低,生存时间明显缩短,从而导致结实不良^[20],开花授粉的适宜温度为25℃~28℃。本研究各播期授粉期间湿度较低,相对湿度均未超过62%;气温在29℃~31℃,均未超过32℃,但冠层温度表现为6月12日播种处理最高,达33℃~34℃。因此,6月12日播种其开花授粉期温湿度条件对穗粒数的增加较为不利,穗粒数较前一播期伟科702和郑单958分别少34.8和26.7粒。6月12日前播种对玉米抽雄和吐丝时间影响不大,播期每推迟3 d,抽雄和吐丝日期后推1 d,但进一步推迟播期,抽雄和吐丝日期后推4.5~5 d;6月12日前播种玉米抽雄和吐丝持续时间更为集中,较迟播处理缩短1~2 d。因此,在冀中区较为适宜的播期应该为6月12日前。

收获期是影响玉米产量的重要因素之一,选择适宜的收获期是获得高产的关键。李月华等研究表明,随着收获期的推迟,夏玉米千粒重提高^[21]。本研究发现,不同夏玉米产量受收获期和播期的共同影响,经回归分析得出夏玉米每提早播种1 d,产量平均增加98.4 kg/hm²;每推迟收获1 d,平均增产103.3 kg/hm²,2014年播期的增产效果较2012年研究结果低,但推迟收获期的增产效果与之相当^[22],估计与玉米品种和气候条件的差异有关。本研究中随着收获期推迟,生育期延长,产量表现增加趋势,但对于伟科702并不呈正比增加。可见,对于某些品种推迟收获期并不能一直获得较高的产量,而应该与适宜播期结合才能得到较为理想的产量结果。因此,该研究得出6月6日至6月12日播种、10月4日至10日收获为较适宜的播种和收获日期。

郑单958和伟科702比较,前者穗位叶位受播期影响不大,成熟期叶片SPAD值降低幅度较小,各分组叶片比例稳定性较好,说明郑单958适应性强,该特点是其稳产的重要原因之一。

参考文献:

- [1] 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. (in Chinese)
- [2] 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 shanxi irrigation area[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(6): 1247-1253. (in Chinese)
- [3] 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. (in Chinese)
- [4] 张艳敏,李晋生,钱维朴,等.小麦冠层结构与光分布研究[J].华北农学报,1996,11(1):54-58.
Zhang Y M, Li J S, Qian W P, et al. Canopy structure and light distribution in winter wheat[J]. Acta Agriculturae Boreali-sinica, 1996, 11(1): 54-58. (in Chinese)
- [5] 吕丽华,赵明,赵久然,等.不同施氮量下夏玉米冠层结构及光合特性的变化[J].中国农业科学,2008,41(9):2624-2632.
Lü L H, Zhao M, Zhao J R, et al. Canopy structure and photosynthesis of summer maize under different nitrogen fertilizer application rates[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(9): 2624-2632. (in Chinese)
- [6] 王之杰,郭天财,朱云集,等.超高产小麦冠层光辐射特征的研究[J].西北植物学报,2003,23(10):1657-1662.
Wang Z J, Guo T C, Zhu Y J, et al. Study on character of light radiation in canopy of super-high-yielding winter wheat[J]. Acta Bot. Boreal-Occident. Sin., 2003, 23(10): 1657-1662. (in Chinese)
- [7] Maddonni G A, Otegui M E, Cirilo A G. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation[J]. Field Crops Research, 2001, 71(3): 183-193.
- [8] 郑洪建,董树亭,郭玉秋,等.生态因素对不同类型玉米品种生长特性的影响[J].华北农学报,2002,17(1):25-29.
Zheng H J, Dong S T, Guo Y Q, et al. Effects of ecological factors on growth of different varieties maize(*Zea mays* L.)[J]. Acta Agriculturae Boreali-sinica, 2002, 17(1): 25-29. (in Chinese)
- [9] Azia A, Rehman H U, Khan N. Maize cultivar response to population density and planting data for grain and biomass yield[J]. Sarhad Journal Agriculture, 2007, 23(1): 25-30.
- [10] Dahmardeh M. The effect of sowing date and some growth physiological index on grain yield in three maize hybrids in Southeastern Iran[J]. Asian Journal of Plant Sciences, 2010, 9(7): 432-436.
- [11] 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. (in Chinese)
- [12] 刘明,陶洪斌,王璞,等.播期对春玉米生长发育、产量及水分利用的影响[J].玉米科学,2009,17(2):108-111.
Liu M, Tao H B, Wang P, et al. Effects of sowing date on growth, yield formation and water utilization of spring maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2009, 17(2): 108-111. (in Chinese)
- [13] 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. (in Chinese)
- [14] 薛庆禹,王靖,曹秀萍,等.不同播期对华北平原夏玉米生长发育的影响[J].中国农业大学学报,2012,17(5):30–38.
- Xue Q Y, Wang J, Cao X P, et al. Effect of sowing date and variety on growth and population characteristics of summer maize in North China Plain[J]. Journal of China Agricultural University, 2012, 17(5): 30–38. (in Chinese)
- [15] 张泽民,任和平.不同生态环境对玉米产量和穗粒性状的影响[J].华北农学报,1991,6(1):28–34.
- Zhang Z M, Ren H P. Different ecological environments effect on yield and ear-kernel characters of corn[J]. Acta Agriculturae Boreali-sinica, 1991, 6(1): 28–34. (in Chinese)
- [16] Kamara A Y, Ekeleme F, Chikoye D, et al. Planting data and cultivar effects on grain yield in dryland corn production[J]. Agron Journal, 2009(101): 91–98.
- [17] Kucharik C J. Contribution of planting date trends to increased maize yields in the central United States[J]. Agron Journal, 2008(100): 328–336.
- [18] 马树庆,王琪,罗新兰.基于分期播种的气候变化对东北地区玉米 (*Zea mays*) 生长发育和产量的影响[J].生态学报,2008,28(5):2131–2139.
- Ma S Q, Wang Q, Luo X L, et al. Effect of climate change on maize (*Zea mays*) growth and yield based on stage sowing[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(5): 2131–2139. (in Chinese)
- [19] 张桂阁,曹修才,侯长荣.玉米秃顶缺粒原因及预防措施[J].玉米科学,1996,4(4):47–49.
- Zhang G G, Cao X C, Hou C R. Causes of bald and back of grain and preventive measures for corn[J]. Journal of Maize Sciences, 1996, 4(4): 47–49. (in Chinese)
- [20] 杨国虎.玉米花粉花丝耐热性研究进展[J].种子,2005,24(2):47–51.
- Yang G H. Research progress of heat resistance of maize pollen[J]. Seed, 2005, 24(2): 47–51. (in Chinese)
- [21] 李月华,侯大山,刘强,等.收获期对夏玉米千粒重及产量的影响[J].河北农业科学,2008,12(7):1–3,6.
- Li Y H, Hou D S, Liu Q, et al. Effect of harvest period on 1000-grain weight and yield of summer maize[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2008, 12(7): 1–3, 6. (in Chinese)
- [22] 吕丽华,董志强,梁双波,等.播期、收获期对玉米物质生产及光能利用的调控效应[J].华北农学报,2013,28(增刊):177–183.
- Lü L H, Dong Z Q, Liang S B, et al. Effects of planting and harvest date on matter production of summer maize and its utilization of solar and heat resource[J]. Acta Agriculturae Boreali-sinica, 2013, 28(S): 177–183. (in Chinese)

(责任编辑:高阳)

(上接第75页)

- [16] Carena M, Cross H Z. Plant density and maize germplasm improvement in the northern corn belt[J]. Maydica, 2003, 48(2): 105–112.
- [17] 李 宁,翟志席,李建民,等.密度对不同株型的玉米农艺、根系性状及产量的影响[J].玉米科学,2008,16(5):98–102.
- Li N, Zhai Z X, Li J M, et al. Effects of planting density on agricultural characters, root system characters and yield of different maize plant types[J]. Journal of Maize Sciences, 2008, 16(5): 98–102. (in Chinese)
- [18] 丰 光,李妍妍,景希强,等.玉米不同种植密度对主要农艺性状和产量的影响[J].玉米科学,2011,19(1):109–111.
- Feng G, Li Y Y, Jing X Q, et al. Effects on agronomic characteristics and yield of maize planting density[J]. Journal of Maize Sciences, 2011, 19(1): 109–111. (in Chinese)
- [19] Tokatlidis I S, Has V, Melidis V, et al. Maize hybrids less dependent on high plant densities improve resource-use efficiency in rain-fed and irrigated conditions[J]. Field Crops Res., 2011, 120: 345–351.
- [20] Nash D M, Watkins M, Heaven M W, et al. Effects of cultivation on soil and soil water under different fertilizer regimes[J]. Soil & Tillage Research, 2015, 145(1): 37–46.
- [21] 张德健,路战远,张向前,等.不同耕作措施对玉米产量和土壤理化性质的影响[J].中国农学通报,2014,30(12):209–213.
- Zhang D J, Lu Z Y, Zhang X Q, et al. Effects of different tillage methods on maize yield and soil physical and chemical characters of maize field[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(12): 209–213. (in Chinese)
- [22] 杨 雪,逢焕成,李铁冰,等.深旋松耕作法对华北缺水土壤质黏潮土物理性状及作物生长的影响[J].中国农业科学,2013,46(16):3401–3412.
- Yang X, Pang H C, Li T B, et al. Effects of deep rotary sub-soiling tillage on the physical properties and crop growth of the sticky loamy soil in north China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(16): 3401–3412. (in Chinese)
- [23] 李 华,逢焕成,任天志,等.深旋松耕作法对东北棕壤物理性状及春玉米生长的影响[J].中国农业科学,2013,46(3):647–656.
- Li H, Pang H C, Ren T Z, et al. Effects of deep rotary sub-soiling tillage method on brown physical properties and maize growth in northeast of China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(3): 647–656. (in Chinese)
- [24] 孙贵臣,冯瑞云,陈 凌,等.深松免耕种植对土壤环境及玉米产量的影响[J].作物杂志,2014,4:129–132.
- Sun G C, Feng R Y, Chen L, et al. Effect of deep loosening and zero tillage on soil environment and maize growth[J]. Crops, 2014, 4: 129–132. (in Chinese)
- [25] 吕巨智,程伟东,钟昌松,等.不同耕作方式对土壤物理性状及玉米产量的影响[J].中国农学通报,2014,30(30):38–43.
- Lü J Z, Cheng W D, Zhong C S, et al. Effects of different cultivation methods on the soil physical properties and yield of maize[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(30): 38–43. (in Chinese)

(责任编辑:高阳)