中国生态农业学报(中英文)
Chinese Journal of Eco-Agriculture
中文核心期刊
中国科技核心期刊
中国精品科技期刊
百种中国杰出学术期刊
中国科学引文数据库源刊

密度对春玉米生理成熟后倒伏变化的影响

张冬梅，杨柯，姜春霞，张伟，黄明镜，刘化涛，闫六英，刘恩科，翟广谦，王娟玲

引用本文:
张冬梅, 杨柯, 姜春霞, 等. 密度对春玉米生理成熟后倒伏变化的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, 29(5): 855–869.

在线阅读 View online: https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.200592

(向下翻页，阅读全文)

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

不同播期春玉米生理成熟后倒伏特征及其影响因素

Lodging characteristics after physiological maturity of spring maize sowed at different dates and its influencing factors

中国生态农业学报(中英文). 2021, 29(4): 725–737 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.200593

华北平原春绿豆–夏玉米种植模式经济效益和碳足迹评价

Economic benefits and carbon footprint of a spring mung bean–summer maize cropping system in the North China Plain

中国生态农业学报(中英文). 2020, 28(6): 910–919 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.190916

行距及密度影响玉米密植潜力的干物质累积和产量构成机制

Characteristics of dry matter accumulation and yield formation of dense planting maize in different row spacings

中国生态农业学报(中英文). 2020, 28(5): 652–661 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.190852

基于扩散理论的华北春玉米生理成熟后籽粒脱水过程分析

Analysis of kernel dry down process after physiological maturity of spring maize based on diffusion theory in the North China

中国生态农业学报(中英文). 2020, 28(4): 545–557 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.190906

种植密度对川中丘陵夏玉米茎秆性状及产量的影响

Effect of planting density on stem characteristics and yield of summer maize in the Hilly Central Sichuan Basin, China

中国生态农业学报. 2017, 25(3): 356–364 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.160822

中国生态农业学报(中英文) 2021 年 5 月 第 29 卷 第 5 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, May 2021, 29(5): 855−869

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.200592

张冬梅, 杨柯, 姜春霞, 张伟, 黄明镜, 刘化涛, 闫六英, 刘恩科, 翟广谦, 王娟玲. 密度对春玉米生理成熟后倒伏变化的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, 29(5): 855−869

ZHANG D M, YANG K, JIANG C X, ZHANG W, HUANG M J, LIU H T, YAN L Y, LIU E K, ZHAI G Q, WANG J L. Effect of planting density on lodging change of spring maize after physiological maturity[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2021, 29(5): 855−869

密度对春玉米生理成熟后倒伏变化的影响*

张冬梅, 杨 柯, 姜春霞, 张 伟, 黄明镜, 刘化涛, 闫六英, 刘恩科, 翟广谦, 王娟玲**

(山西农业大学山西有机旱作农业研究院/黄土高原东部旱作节水技术国家地方联合工程实验室/有机旱作山西省重点实验室 太原 030031)

摘 要: 晋中盆地热量资源丰富, 后期可供春玉米立秆脱水时间充足, 抗倒性是该区域实施春玉米机械粒收的关键因素。增密种植与立秆延期收获是机械粒收技术发展和推广的重要措施, 而玉米生长后期倒伏是限制种植密度进一步提升的重要因素, 如何合理选择种植密度同时兼顾高产和抗倒就成为该区域实施春玉米机械粒收技术面临的重要问题。为此于 2017—2019 年在山西省农业科学院东阳试验示范基地, 以 29 个玉米主栽品种和已审定、待审定、有潜力的宜机收品种为材料, 分析了春玉米 3 个种植密度(6.0 万株·hm^{-2}、7.5 万株·hm^{-2} 和 9.0 万株·hm^{-2})下生理成熟后倒伏情况。结果表明, 随着种植密度增加, 春玉米生理成熟期平均倒折率分别为 0.4%、1.2%和 2.5%, 生理成熟后平均倒折率呈显著(P<0.05)增加, 且每推迟 10 d 玉米倒折率分别平均增加 0.2 个、0.7 个和 1.5 个百分点。根据拟合方程, 以 GB/T 21962—2008 规定的玉米机械粒收条件倒折率小于 5%为标准, 9.0 万株·hm^{-2} 仅可立秆至 10 月 2 日, 7.5 万株·hm^{-2} 和 6.0 万株·hm^{-2} 可充分利用当地积温立秆脱水至 11 月。根据收获期产量和倒折率双向平均法, 3 年都稳定表现出高产抗倒的品种为‘金科玉 3306’(7.5 万株·hm^{-2})、‘金科玉 3306’(9.0 万株·hm^{-2})、‘迪卡 517’(7.5 万株·hm^{-2})和‘华农 887’(7.5 万株·hm^{-2}), 收获期平均产量为 14 091.8 kg·hm^{-2}, 平均倒折率为 1.7%, 可推荐为该区域春玉米适宜机械粒收的品种和密度。一般可根据降水年型、灌溉条件以及品种耐密性等, 合理选择 6.0 万株·hm^{-2} 或 7.5 万株·hm^{-2} 两种种植密度, 以实现高产抗倒, 最终提高春玉米机械粒收产量和质量。

关键词: 春玉米; 密度; 机械粒收; 生理成熟; 倒伏

中图分类号: S513; S352 开放科学码(资源服务)标识码(OSID):

Effect of planting density on lodging change of spring maize after physiological maturity*

ZHANG Dongmei, YANG Ke, JIANG Chunxia, ZHANG Wei, HUANG Mingjing, LIU Huatao, YAN Liuying, LIU Enke, ZHAI Guangqian, WANG Juanling**

* 国家重点研发计划项目(2016YFD0300305)、山西省重点研发计划重点项目(201703D211002)和山西省农业科学院应用基础研究计划项目(YCX2020YQ59, YBSJJ2016)资助

** 通信作者: 王娟玲, 主要研究方向为旱作节水技术研究。E-mail: wjl_bb@163.com
张冬梅, 主要研究方向为旱作栽培技术研究。E-mail: 13803401159@163.com

收稿日期: 2020-07-21 接受日期: 2020-11-09

* This study was supported by the National Key Research and Development Project of China (2016YFD0300305), the Key Projects of Research and Development Plan of Shanxi Province (201703D211002) and the Applied Basic Research Project of Shanxi Academy of Agricultural Sciences (YCX2020YQ59, YBSJJ2016).

** Corresponding author, E-mail: wjl_bb@163.com

Received Jul. 21, 2020; accepted Nov. 9, 2020

(Shanxi Institute of Organic Dryland Farming, Shanxi Agricultural University / National Local Joint Engineering Laboratory of Water-Saving Techniques for Dry Farming in the Eastern Loess Plateau / Key Laboratory of Organic Dry Farming of Shanxi Province, Taiyuan 030031, China)

Abstract: Heat resources are abundant in the Jinzhong Basin and can be used for dehydration in the late growth stage of spring maize. Lodging resistance is the key limiting factor for direct mechanical grain harvesting in this region. High planting density and harvest delay are important factors for the development and popularization of mechanical grain harvesting technology, but lodging in the late growth stage of maize limits the increase in planting density. One problem with implementing spring maize mechanical grain harvesting technology in the Jinzhong Basin is the selection of an appropriate planting density with high yield and lodging resistance. A field experiment was conducted in the Dongyang Experiment and Demonstration Base of Shanxi Academy of Agricultural Sciences from 2017 to 2019, with three planting densities (6.0×10^4, 7.5×10^4, and 9.0×10^4 plants·hm^{-2}) and 29 maize cultivars. Changes in lodging at three planting densities were analyzed after the spring maize matured physiologically. The results showed that the average lodging rate for three planting densities at physiological maturity was 0.4% (6.0×10^4 plants·hm^{-2}), 1.2% (7.5×10^4 plants·hm^{-2}), and 2.5% (9.0×10^4 plants·hm^{-2}). After physiological maturity, the average lodging rate increased significantly ($P<0.05$). For every 10 days of delay, the lodging rate for three planting densities increased by 0.2 (6.0×10^4 plants·hm^{-2}), 0.7 (7.5×10^4 plants·hm^{-2}) and 1.5 (9.0×10^4 plants·hm^{-2}) percentage points. The national standard GB/T 21962—2008 mentions that the lodging rate of maize should be less than 5% under mechanical grain harvesting conditions. According to the fitting equation, the lodging rate for the 9.0×10^4 plants·hm^{-2} density was higher than 5% after October 2. However, the lodging rates for the 6.0×10^4 plants·hm^{-2} and 7.5×10^4 plants·hm^{-2} densities were less than 5% until November. Therefore, maize grown at 6.0×10^4 plants·hm^{-2} and 7.5×10^4 plants·hm^{-2} could make full use of the local accumulated temperature for dehydration. According to the two-way average method with yield and lodging rate of the harvest period, the varieties and densities with high yield and lodging resistance in three years were always 'Jinkeyu3306' (7.5×10^4 plants·hm^{-2}), 'Jinkeyu3306' (9.0×10^4 plants·hm^{-2}), 'Dika517' (7.5×10^4 plants·hm^{-2}), and 'Huanong887' (7.5×10^4 plants·hm^{-2}). The average yield was 14 091.8 kg·hm^{-2}, and the average lodging rate was 1.7%. These varieties and densities of spring maize were suitable for mechanical grain harvesting in the region. The planting densities of 6.0×10^4 plants·hm^{-2} or 7.5×10^4 plants·hm^{-2} were suitable according to the annual precipitation, irrigation conditions, and the density tolerance of the varieties to achieve high yield and lodging resistance.

Keywords: Spring maize; Density; Mechanical grain harvest; Physiological maturity; Lodging

玉米(*Zea mays*)籽粒机械收获是未来玉米生产发展的趋势[1-2]。倒伏是玉米生产中普遍存在的问题。国家标准“玉米收获机械技术条件”(GB/T 21962—2008)中规定机械粒收的条件为田间植株倒伏率应低于 5%[3]。玉米机械粒收一般在生理成熟后 2~4 周进行[1,4]，倒伏问题影响田间立秆籽粒脱水的时间，不仅降低机收产量，影响机收质量和机收效率，同时由倒伏导致的田间落穗落粒损失引起的再生苗问题目前还没有很好的解决办法，成为影响机械粒收技术发展的重要限制因素[5-9]。山西省中南部地区热量资源丰富，春玉米生长后期立秆脱水时间充足[10-13]，生理成熟后倒伏成为该区域发展机械粒收栽培技术的关键限制因素。增密种植与田间立秆延期收获是机械粒收技术发展和推广的重要措施，而玉米立秆脱水期间的倒伏是限制种植密度进一步提升的重要因素[8]。以往我国玉米收获以人工收获和机械穗收为主，前人关于种植密度对玉米抗倒性影响的研究多集中于生理成熟前或收获期的某一阶段[14-19]，而对生理成熟后田间立秆脱水至机械粒收阶段倒伏变化的研究较少[6,20-21]。薛军等[6]分析了玉米生理成熟后倒伏变化及影响因素，从时间纵向发展角度，认为生理成熟后植株自然衰老导致的茎秆干物质降低和水分含量下降，是茎秆机械强度降低、茎折率增加的主要原因。但目前还很少涉及从横向角度研究不同栽培技术对玉米生理成熟后倒伏变化影响的研究。为此，本研究于 2017—2019 年在山西省农业科学院东阳试验示范基地，以生产上主栽品种和已审定、待审定、有潜力的宜机收品种为材料，分析了玉米生理成熟后倒伏变化对 3 个不同种植密度的响应，以明确不同种植密度的最迟立秆期，筛选出不同年份稳定表现出高产抗倒的品种，作为该区域春玉米适宜机械粒收的品种，并提出了不同灌溉条件下实现高产抗倒的适宜播种密度，以期为区域推广应用春玉米机械粒收技术提供理论和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2017—2019 年在山西省晋中市榆次区山西省农业科学院东阳试验基地进行，海拔 795~

805 m, 年平均气温 9.8 ℃, 年平均降水量 388.0 mm, 降水 70%以上集中在 6—9 月, 年均无霜期 158 d, ≥10 ℃活动积温约 3600 ℃, 属中晚熟玉米区。试验地土壤类型为潮土, 主要为耕种壤质浅色草甸土。试验前耕层 0~20 cm 土壤有机质含量为 13.2 g·kg^{-1}, 全氮、全磷和全钾含量分别为 1.27 g·kg^{-1}、0.90 g·kg^{-1} 和 27.32 g·kg^{-1}, 有效氮、有效磷和有效钾含量分别为 39.8 mg·kg^{-1}、4.3 mg·kg^{-1} 和 177.4 mg·kg^{-1}, 属中等肥力。

采用裂区设计, 主区为密度, 设 6.0 万株·hm^{-2}、7.5 万株·hm^{-2} 和 9.0 万株·hm^{-2} 共 3 个密度; 裂区为品种, 3 年通过淘汰和新增方式, 分别采用当地主栽品种和已经审定、待审定、有潜力的玉米宜机收品种(表 1)。2017 年共 20 个品种, 前 8 个品种小区面积为 6 m×12 m=72 m^2, 后 12 个品种小区面积为 6 m×6 m=36 m^2, 1 次重复, 共 60 个小区; 2018 年共 16 个品种, 其中前 6 个品种小区面积 6 m×6 m=36 m^2, 3 次重复, 后 10 个品种小区面积 6 m×6 m=36 m^2, 1 次重复, 共 84 个小区。2019 年共 17 个品种, 其中前 6 个品种小区面积 6 m×6 m=36 m^2, 3 次重复, 后 11 个品种小区面积 6 m×6 m=36 m^2, 1 次重复, 共 87 个小区。3 年参试 53 个品次, 共 29 个品种。2017 年、2018 年和 2019 年分别在 5 月 8 日、4 月 24 日和 4 月 24 日播种。2017 年分别于 7 月 12 日和 8 月 11 日进行畦灌, 每次灌水量为 825 m^3·hm^{-2}; 2018 年分别于 6 月 24 日、7 月 2 日和 8 月 3 日滴灌补水, 2019 年分别于 6 月 6 日、6 月 30 日、7 月 7 日和 8 月 13 日滴灌补水, 两年每次灌水量均为 525 m^3·hm^{-2}。每年于播前一次底施复合肥 1000 kg·hm^{-2}(N-P_2O_5-K_2O: 26.5-11.5-0), 中期不进行追肥。其他田间管理措施同大田生产。

表 1　2017—2019 年试验玉米品种

Table 1　Maize cultivars of experiment from 2017 to 2019

年份 Year	品种 Cultivar	品种数 Cultivars number
2017	郑单 958、粒收 1 号、金科玉 3306、迪卡 517、东单 913、华农 887、广德 5 号、张 1453、华美 1 号、Q9916、DF6396、LS2042、先玉 1622、豫单 9953、龙生 668、并单 72、先玉 696、kx9384、中航 102、德育 919 Zhengdan 958, Lishou 1, Jinkeyu 3306, Dika 517, Dongdan 913, Huanong 887, Guangde 5, Zhang 1453, Huamei 1, Q9916, DF6396, LS2042, Xianyu 1622, Yudan 9953, Longsheng 668, Bingdan 72, Xianyu 696, kx9384, Zhonghang 102, Deyu 919	20
2018	郑单 958、粒收 1 号、金科玉 3306、迪卡 517、华美 1 号、泽玉 8911、东单 913、华农 887、广德 5 号、京农科 728、Q9916、DF6396、DF607、利单 638、科沃 674、中地 88 Zhengdan 958, Lishou 1, Jinkeyu 3306, Dika 517, Huamei 1, Zeyu 8911, Dongdan 913, Huanong 887, Guangde 5, Jingnongke 728, Q9916, DF6396, DF607, Lidan 638, Kewo 674, Zhongdi 88	16
2019	郑单 958、粒收 1 号、金科玉 3306、迪卡 517、华美 1 号、中地 88、东单 913、华农 887、广德 5 号、京农科 728、Q9916、DF6396、DF607、DF617、瑞普 909、泽玉 8911、大丰 30 Zhengdan 958, Lishou 1, Jinkeyu 3306, Dika 517, Huamei 1, Zhongdi 88, Dongdan 913, Huanong 887, Guangde 5, Jingnongke 728, Q9916, DF6396, DF607, DF617, Ruipu 909, Zeyu 8911, Dafeng 30	17

1.2　测定项目及方法

1.2.1　倒折率

玉米倒伏可分为根倒和茎折, 根倒为茎秆与垂直线夹角大于45°, 茎折为茎秆在穗位以下的折断, 试验年份没有根倒, 只有茎折。生理成熟后约每周对每个小区进行调查, 调查持续至生理成熟后约1个月, 2017年共5次, 2018年共4次, 2019年共4次。记录各小区总株数、茎折数(穗位以下折断的株数)。倒折率(%)=茎折株数/总株数×100。

1.2.2　生理成熟期

按照乳线消失、黑层完全形成为标准记录每个小区生理成熟期, 每个品种的生理成熟期为该品种所有密度处理的平均值。

1.2.3　产量

完成最后 1 次倒折率调查后, 按小区实际面积进行全部收获, 最后折算成公顷产量(籽粒含水量为14%)。

1.2.4　气象数据

试验点距离榆次站点(53776)约 15 km, 1981—2010 年多年旬降水及气温由中国气象数据共享服务网获得, 2017—2019 年旬气温由榆次气象局获得, 旬降水量由试验点雨量器记录。

1.2.5　数据分析

用 Excel 进行试验数据处理, 用 DPS 统计软件, 进行试验数据的方差分析。

2　结果与分析

2.1　试验区多年平均及试验年份气象条件

分析多年(1981—2010 年)平均历史气象数据(图 1), 试验点春玉米生长后期气温高且降水少, 适宜

玉米立秆籽粒脱水，其中 9 月下旬、10 月上旬、10 月中旬、10 月下旬和 11 月上旬的旬平均气温分别为 15.1 ℃、12.9 ℃、10.7 ℃、8.2 ℃和 5.3 ℃，旬平均降水分别为 13.7 mm、10.1 mm、10.6 mm、5.5 mm、5.7 mm。多年平均初霜日在 11 月 5 日，春玉米籽粒机械收获要求的立秆脱水期可延长至 10 月底。

试验年份为 3 个不同降水年型，虽有补灌条件，但补灌能力与灌溉面积不配套，因此，作物生长水分条件不同。2017 年 5—9 月降水为 351.1 mm，较多年平均降水增加 37.5 mm，属于降水偏丰年，但由于第 1 次补灌时期较常年推迟了 20 d 左右，因此玉米在大口期受旱较重；2018 年 5—9 月降水为 309.3 mm，为平水年，玉米生育关键期补灌较为及时，生育期基本不受旱；2019 年 5—9 月份降水为 209.8 mm，较多年平均降水减少约 1/3，为干旱年，虽通过滴灌补水 4 次，但在玉米大口期和灌浆期仍受轻旱。

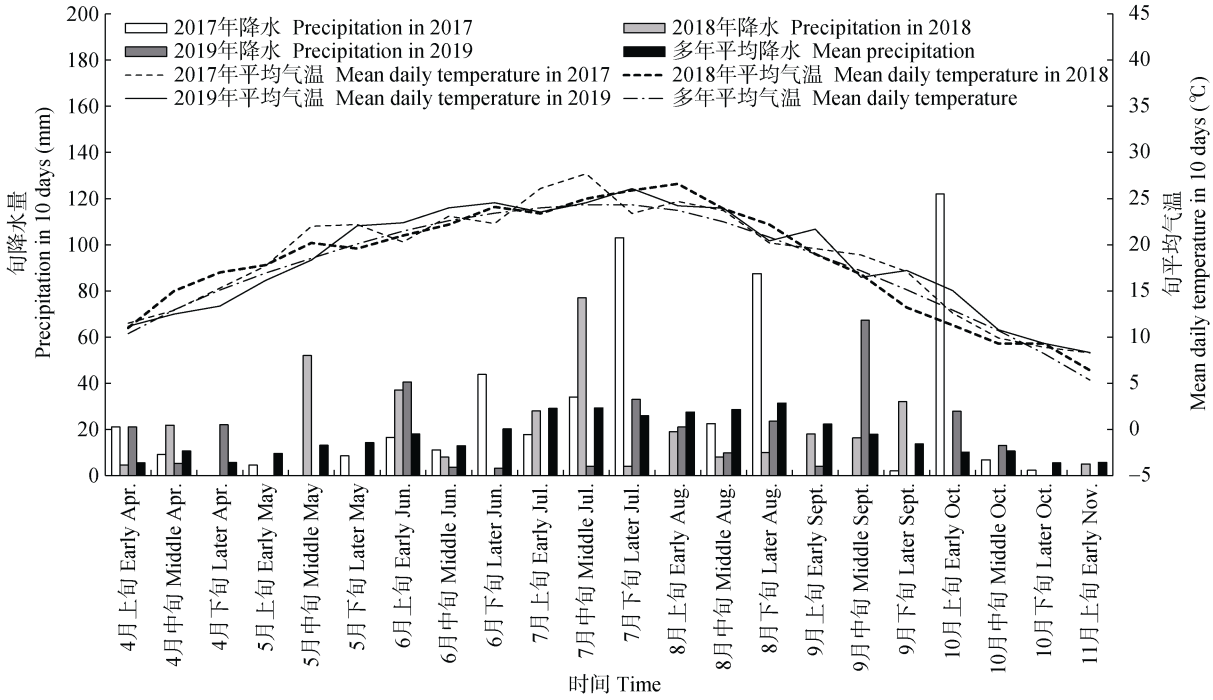

图 1 2017—2019 年与多年(1980—2010 年)平均玉米生长期及立秆期逐旬平均温度和降水量变化

Fig. 1 Average ten-day temperature and precipitation from April to December in 2017−2019 and the mean data from 1980 to 2010 during spring maize growth season and after physiological maturity

2.2 春玉米生理成熟后可利用立秆脱水时间

从表 2 可知，2017 年所有处理生理成熟期平均为 9 月 23 日，50%置信区间为 9 月 20—26 日。根据多年气象因素分析，该区域多年平均初霜日为 11 月初，以可立秆脱水至 10 月底为标准[22]，2017 年玉米生理成熟后可利用立秆脱水天数为 34~40 d；2018 年和 2019 年播期较 2017 年提早约半个月，2018 年平均生理成熟期为 9 月 13 日，50%置信区间为 9 月 11—14 日，玉米生理成熟后可利用立秆脱水天数为 46~49 d；2019 年由于后期干旱以及茎腐病造成的早衰，生理成熟期平均为 9 月 11 日，50%置信区间为 9 月 9—12 日，生理成熟后可利用立秆脱水天数为 48~51 d。综合 3 年试验研究结果，在目前的品种和栽培技术条件下，春玉米生理成熟后至少有 35 d 以上的立秆脱水时间，完全超过玉米机械粒收要求的 7~14 d 的立杆脱水时间[1,4]，收获期籽粒含水率不是玉米机械粒收的主要限制因子，但是对立秆脱水期的抗倒性提出了更为严格的要求。

2.3 密度对春玉米生理成熟后倒折变化的影响

随着密度增加，春玉米生理成熟后平均倒折率呈显著($P<0.05$)增加趋势(表 3-5)。密度从 6.0 万株·hm^{-2} 逐步增加为 7.5 万株·hm^{-2} 和 9.0 万株·hm^{-2} 时，2017 年倒折率从 1.1%显著增加到 4.1%和 8.9%，2018 年从 1.1%显著增加为 2.7%和 5.1%；2019 年春玉米密度从 6.0 万株·hm^{-2} 增加为 7.5 万株·hm^{-2}，倒折率从 0.2%增加为 0.5%，当密度增加为 9.0 万株·hm^{-2} 时，倒折率显著增加为 2.3%。但不同品种倒折率随密度增加的程度明显不同，2017 年‘金科玉 3306’‘迪卡 517’和‘先玉 1622’倒折率随密度增加的变异系数最大，为 173.2%，而‘粒收 1 号’和‘张 1453’

表 2　2017—2019 年不同春玉米品种生理成熟后可利用立秆脱水时间

Table 2　Available dehydration time in the field after physiological maturity of different spring maize cultivars in 2017−2019

2017		2018		2019	
品种 Cultivar	生理成熟期(月-日) Physiological maturity (month-day)	品种 Cultivar	生理成熟期(月-日) Physiological maturity (month-day)	品种 Cultivar	生理成熟期(月-日) Physiological maturity (month-day)
郑单 958 Zhengdan 958	09-28	郑单 958 Zhengdan 958	09-17	郑单 958 Zhengdan 958	09-14
粒收 1 号 Lishou 1	09-27	粒收 1 号 Lishou 1	09-20	粒收 1 号 Lishou 1	09-14
金科玉 3306 Jinkeyu 3306	09-26	金科玉 3306 Jinkeyu 3306	09-13	金科玉 3306 Jinkeyu 3306	09-13
迪卡 517 Dika 517	09-26	迪卡 517 Dika 517	09-13	迪卡 517 Dika 517	09-10
东单 913 Dongdan 913	09-25	东单 913 Dongdan 913	09-11	东单 913 Dongdan 913	09-07
华农 887 Huanong 887	09-20	华农 887 Huanong 887	09-12	华农 887 Huanong 887	09-09
广德 5 号 Guangde 5	09-21	广德 5 号 Guangde 5	09-06	广德 5 号 Guangde 5	09-08
张 1453 Zhang 1453	09-23	京农科 728 Jingnongke 728	09-06	京农科 728 Jingnongke 728	08-30
华美 1 号 Huamei 1	09-19	华美 1 号 Huamei 1	09-06	华美 1 号 Huamei 1	09-04
Q9916	09-25	Q9916	09-11	Q9916	09-11
DF6396	09-27	DF6396	09-17	DF6396	09-12
LS2042	09-20	DF607	09-11	DF607	09-10
先玉 1622 Xianyu 1622	09-21	中地 88 Zhongdi 88	09-20	中地 88 Zhongdi 88	09-16
豫单 9953 Yudan 9953	09-19	泽玉 8911 Zeyu 8911	09-13	泽玉 8911 Zeyu 8911	09-11
龙生 668 Longsheng 668	09-23	利单 638 Lidan 638	09-13	瑞普 909 Ruipu 909	09-11
并单 72 Bingdan 72	09-23	科沃 674 Kewo 674	09-14	DF617	09-10
先玉 696 Xianyu 696	09-23			大丰 30 Dafeng 30	09-04
kx9384	09-19				
中航 102 Zhonghang 102	09-26				
德育 919 Deyu 919	09-19				
平均 Average	09-23		09-13		09-11
50%置信区间 50% confidence interval	09-20—09-26		09-11—09-14		09-09—09-12
可利用立秆脱水天数 Days of available dehydration (d)	34~40		46~49		48~51

不同密度倒折率始终为 0; 2018 年密度间倒伏率变异系数最大的品种为‘DF607’, 而‘利单 638’的倒伏率始终为 0; 2019 年倒折率随密度增加变化最大的品种为‘华美 1 号’ ‘东单 913’ ‘广德 5 号’和‘大丰 30’, 而‘华农 887’ ‘Q9916’ ‘DF6396’ ‘DF607’ ‘DF617’ ‘瑞普 909’和‘泽玉 8911’不同密度倒折率始终为 0。抗倒性强且对密度反应不敏感的品种是进行机械粒收选择耐密抗倒品种的要求。

随着生理成熟后立秆脱水时间延长, 倒伏率呈显著($P<0.05$)增加趋势, 但不同年份不同密度表现不同。2017 年密度 6.0 万株·hm^{-2} 和 7.5 万株·hm^{-2} 在生理成熟两周后倒伏率不再显著增加, 且 6.0 万株·hm^{-2} 在玉米收获期倒折率仅为 1.5%, 而 7.5 万株·hm^{-2} 在玉米生理成熟后 4 周倒折率已经为 5.1%, 超过了国标 GB/T 21962—2008 中机械粒收条件倒折率≤5.0%的规定。密度 9.0 万株·hm^{-2} 在生理成熟 3 周内倒伏率一直在显著增加, 且生理成熟后不足两周倒折率已经为 8.1%, 收获期显著增加为 11.8%, 远远超过了国标规定; 2018 年和 2019 年 3 个种植密度都是玉米生理成熟 4 周后倒折率不再显著增加, 其中, 2018 年玉米收获期 6.0 万株·hm^{-2} 和 7.5 万株·hm^{-2} 倒折率分别为 1.5%和 3.4%, 但当密度增加为 9.0 万株·hm^{-2} 时, 倒折率增加为 6.8%, 2019 年虽然随着密度增加, 收获期倒折率明显增加, 但都小于 5.0%。

表 3　2017 年不同品种、密度春玉米生理成熟后不同时间(月-日)的倒折率

Table 3　Lodging rates of different spring maize cultivars under different densities in different date (month-day) after physiological maturity in 2017　%

品种 Cultivar	6.0×10^4 plants·hm^{-2}						7.5×10^4 plants·hm^{-2}						9.0×10^4 plants·hm^{-2}						平均值 Average	变异系数 CV
	09-22	10-05	10-14	10-22	10-28	平均值 Average	09-22	10-05	10-14	10-22	10-28	平均值 Average	09-22	10-05	10-14	10-22	10-28	平均值 Average		
郑单 958 Zhengdan 958	4.7	4.7	7.0	9.3	9.3	7.0	3.7	20.4	27.8	37.0	42.6	26.3	24.6	43.9	64.9	71.9	73.7	55.8	29.7A	82.8
粒收 1 号 Lishou 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0E	—
金科玉 3306 Jinkeyu 3306	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	3.0	3.0	4.5	2.4	0.8E	173.2
迪卡 517 Dika 517	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	4.9	4.9	6.6	8.2	5.2	1.7DE	173.2
东单 913 Dongdan 913	0.0	2.4	2.4	2.4	2.4	1.9	0.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.6	1.6	8.1	8.1	8.1	8.1	6.8	3.4BCDE	84.7
华农 887 Huanong 887	2.5	5.0	5.0	5.0	5.0	4.5	2.0	6.0	6.0	6.0	6.0	5.2	1.7	12.1	19.0	19.0	19.0	14.2	8.0BC	67.7
广德 5 号 Guangde 5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	8.3	8.3	8.3	8.3	7.9	8.5	10.2	13.6	13.6	13.6	11.9	6.6BCD	91.8
张 1453 Zhang 1453	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0E	—
华美 1 号 Huamei 1	0.0	0.0	0.0	2.4	2.4	1.0	0.0	5.9	5.9	5.9	5.9	4.7	0.0	7.0	8.8	8.8	8.8	6.7	4.1BCDE	70.6
Q9916	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	2.1	2.1	2.1	1.7	0.0	3.4	5.1	5.1	5.1	3.7	1.8DE	103.7
DF6396	0.0	3.3	3.3	3.3	3.3	2.6	0.0	4.5	4.5	4.5	4.5	3.6	3.8	7.7	7.7	7.7	7.7	6.9	4.4BCDE	51.2
LS2042	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	4.5	4.5	4.5	4.5	4.1	1.7	5.2	6.9	6.9	6.9	5.5	3.9BCDE	45.8
先玉 1622 Xianyu 1622	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	3.5	3.5	3.5	2.8	0.9E	173.2
豫单 9953 Yudan 9953	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.6	5.4	5.4	7.1	8.9	6.1	2.7CDE	115.1
龙生 668 Longsheng 668	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	4.4	4.4	4.4	8.9	5.3	3.8	17.3	23.1	25.0	26.9	19.2	8.2B	121.5
并单 72 Bingdan 72	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	1.9	3.8	3.8	2.3	0.0	3.5	3.5	3.5	3.5	2.8	1.7DE	88.0
先玉 696 Xianyu 696	0.0	2.6	2.6	2.6	2.6	2.1	0.0	1.9	3.8	7.5	7.5	4.1	1.7	6.7	8.3	11.7	11.7	8.0	4.7BCDE	63.5
kx9384	0.0	0.0	0.0	2.3	2.3	0.9	0.0	3.4	3.4	3.4	5.2	3.1	0.0	8.0	8.0	8.0	8.0	6.4	3.5BCDE	79.6
中航 102 Zhonghang 102	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	5.3	5.3	5.3	5.3	4.9	2.0	8.2	10.2	10.2	10.2	8.2	4.4BCDE	94.1
德育 919 Deyu 919	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	5.9	5.9	5.9	4.3	0.0	6.3	7.9	7.9	7.9	6.0	3.4BCDE	90.0
最大值 Maximum	4.7	5.0	7.0	9.3	9.3	—	6.3	20.4	27.8	37.0	42.6	—	24.6	43.9	64.9	71.9	73.7	—	—	—
最小值 Minimum	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	—	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	—	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	—	—	—
平均值 Average	0.5b	1.0a	1.1a	1.5a	1.5a	1.1c′	1.2b	3.8a	4.4a	5.1a	5.7a	4.1b′	2.7c	8.1b	10.6ab	11.4a	11.8a	8.9a′	4.7	88.5

同行不同小写字母表示不同调查时期在 $P<0.05$ 水平差异显著，带“′”表示不同密度间显著性检验；同列不同大写字母表示不同品种间在 $P<0.01$ 水平差异显著。Different lowercase letters in the same line indicate significantly difference among different dates after physiological maturity at $P<0.05$ level, letters with “′” are for a comparison between different densities. Different capital letters in the same column indicate significant difference among varieties at $P<0.05$ probability.

http://www.ecoagri.ac.cn

表 4　2018 年不同品种、密度春玉米生理成熟后不同时间(月-日)的倒折率

Table 4　Lodging rates of different spring maize cultivars under different densities in different date (month-day) after physiological maturity in 2018　　%

品种 Cultivar	6.0×10^4 plants·hm^{-2}					7.5×10^4 plants·hm^{-2}					9.0×10^4 plants·hm^{-2}				平均值 Average	变异系数 CV
	09-15	09-26	10-08	10-16	平均值 Average	09-15	09-26	10-08	10-6	平均值 Average	09-26	10-08	10-16	平均值 Average		
郑单 958 Zhengdan958	1.5±0.6	2.9±1.4	4.4±2.3	4.4±2.3	3.3	6.1±0.9	9.4±1.1	12.6±5.1	14.5±6.9	10.6	10.8±0.9	17.1±7.6	21.7±11.6	14.2	9.4A	59.1
粒收 1 号 Lishou 1	0.0±0.0	0.0±0.0	0.6±1.1	0.6±1.1	0.3	0.0±0.0	0.0±0.0	1.2±1.1	1.2±1.1	0.6	0.0±0.0	1.7±3.0	1.7±3.0	0.9	0.6GH	45.3
金科玉 3306 Jinkeyu 3306	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.9±1.5	0.2	0.0±0.0	0.0±0.0	0.7±1.2	0.7±1.2	0.3	1.3±2.2	1.9±3.3	1.9±3.3	1.6	0.7GH	106.1
迪卡 517 Dika 517	0.0±0.0	0.8±1.3	0.8±1.3	1.6±2.7	0.8	1.8±1.9	1.8±1.9	1.8±1.9	1.8±1.9	1.8	4.2±2.1	4.2±2.1	4.2±2.1	3.9	2.2DEFG	73.3
华美 1 号 Huamei 1	0.0±0.0	0.8±1.4	0.8±1.4	0.8±1.4	0.6	0.6±1.1	0.6±1.1	1.2±1.1	1.2±1.0	0.9	5.4±1.8	7.0±3.4	7.5±3.6	6.2	2.6DEFG	122.4
泽玉 8911 Zeyu 8911	0.8±1.3	0.8±1.3	1.5±2.6	1.5±2.6	1.1	0.0±0.0	0.5±0.9	1.6±2.7	2.1±3.7	1.1	2.3±1.0	3.4±0.2	3.5±0.2	2.6	1.6EFGH	54.2
东单 913 Dongdan 913	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	1.8	1.8	1.3	2.1	2.1	2.1	2.1	1.1GH	92.5
华农 887 Huanong 887	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	7.5	7.5	7.5	6.9	3.4CDE	100.5
广德 5 号 Guangde 5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	1.5	1.5	1.1	6.9	5.2	5.2	5.6	2.2DEFG	132.0
京农科 728 Jingnongke 728	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	2.4	4.8	4.8	4.8	4.2	4.6	6.2	9.2	6.2	4.6C	29.0
Q9916	0.0	3.4	3.4	3.4	2.6	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	4.8	4.8	4.8	4.8	3.7CD	29.3
DF6396	0.0	0.0	0.0	3.4	0.9	0.9	2.3	6.8	6.8	4.2	4.2	8.3	8.3	5.8	3.6CDE	69.3
DF607	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	4.0	4.0	4.0	1.3FGH	173.2
利单 638 Lidan 638	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0H	—
科沃 674 Kewo 674	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	6.7	6.7	6.7	5.8	3.3CDEF	91.0
中地 88 Zhongdi 88	2.1	4.2	4.2	4.2	3.7	3.4	6.7	6.7	6.7	5.9	10.0	10.0	20.0	11.2	6.9B	56.2
最大值 Maximum	3.6	4.2	4.4	4.4	—	6.1	9.4	12.6	14.5	—	10.8	17.1	21.7	—	—	—
最小值 Minimum	0.0	0.0	0.0	0.0	—	0.0	0.0	0.0	0.0	—	0.0	0.0	0.0	—	—	—
平均值 Average	0.5c	1.0b	1.2ab	1.5a	1.1c′	1.7c	2.5b	3.2ab	3.4a	2.7b′	4.7b	5.6ab	6.8a	5.1a′	3.0	77.1

同行不同小写字母表示不同调查时期在 $P<0.05$ 水平差异显著，带“′”表示不同密度间显著性检验；同列不同大写字母表示不同品种间在 $P<0.01$ 水平差异显著。Different lowercase letters in the same line indicate significantly difference among different dates after physiological maturity at $P<0.05$ level, letters with “′” are for a comparison between different densities. Different capital letters in the same column indicate significant difference among varieties at $P<0.05$ probability.

http://www.ecoagri.ac.cn

表 5　2019 年不同品种、密度春玉米生理成熟后不同时间(月-日)的倒折率

Table 5　Lodging rates of different spring maize cultivars under different densities in different date (month-day) after physiological maturity in 2019　%

品种 Cultivar	6.0×10^4 plants·hm^{-2}					7.5×10^4 plants·hm^{-2}					9.0×10^4 plants·hm^{-2}					平均值 Average	变异系数 CV
	09-18	10-02	10-12	10-24	平均值 Average	09-18	10-02	10-12	10-24	平均值 Average	09-18	10-02	10-12	10-24	平均值 Average		
郑单 958 Zhengdan 958	0.0±0.0	0.0±0.0	0.8±1.4	2.5±2.6	0.8	0.0±0.0	1.9±3.3	4.5±7.8	8.4±11.2	3.7	4.5±1.8	9.6±3.2	21.5±9.7	29.9±17.2	16.4	7.0A	118.8
粒收 1 号 Lishou 1	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0	0.0±0.0	0.6±1.1	0.6±1.1	0.6±1.1	0.5	0.0±0.0	3.3±1.5	6.5±6.8	8.0±9.6	4.4	1.6B	148.6
金科玉 3306 Jinkeyu 3306	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0	0.0±0.0	0.6±1.1	0.6±1.1	0.6±1.1	0.5	0.5±0.9	0.5±0.9	0.5±0.9	0.5±0.9	0.5	0.3B	87.0
迪卡 517 Dika 517	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.7±1.2	0.2	2.0±2.0	2.0±2.0	2.0±2.0	2.7±3.0	2.2	0.8B	155.0
华美 1 号 Huamei 1	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0	0.0±0.0	1.7±2.4	1.7±2.4	1.7±2.4	1.3	0.4B	173.2
中地 88 Zhongdi 88	0.0±0.0	1.5±2.6	1.5±2.6	1.5±2.6	1.1	1.3±2.2	2.5±2.2	3.8±3.8	3.8±3.8	2.8	1.1±1.8	3.7±6.4	3.7±6.4	3.7±6.4	3.0	2.3AB	44.7
东单 913 Dongdan 913	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	1.9	1.9	1.4	0.5B	173.2
华农 887 Huanong 887	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0B	—
广德 5 号 Guangde 5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.4	0.1B	173.2
京农科 728 Jingnongke 728	0.0	0.0	0.0	2.3	0.6	0.0	0.0	0.0	3.2	0.8	5.9	5.9	9.8	9.8	7.8	3.1AB	134.5
Q9916	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0B	—
DF6396	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0B	—
DF607	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0B	—
DF617	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0B	—
瑞普 909 Ruipu 909	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0B	—
泽玉 8911 Zeyu 8911	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0B	—
大丰 30 Dafeng 30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	0.8B	173.2
最大值 Maximum	0.0	1.5	1.5	2.5	—	1.3	2.5	4.5	8.4	—	5.9	9.6	21.5	29.9	—	—	—
最小值 Minimum	0.0	0.0	0.0	0.0	—	0.0	0.0	0.0	0.0	—	0.0	0.0	0.0	0.0	—	—	—
平均值 Average	0.0b	0.1ab	0.1ab	0.4a	0.2b′	0.1b	0.3b	0.6ab	1.0a	0.5b′	1.0b	1.8b	2.9ab	3.7a	2.3a′	1.0	114.6

同行不同小写字母表示不同调查时期在 $P<0.05$ 水平差异显著，带“ ′ ”表示不同密度间显著性检验；同列不同大写字母表示不同品种间在 $P<0.01$ 水平差异显著。Different lowercase letters in the same line indicate significantly difference among different dates after physiological maturity at $P<0.05$ level, letters with “ ′ ” are for a comparison between different densities. Different capital letters in the same column indicate significant difference among varieties at $P<0.05$ probability.

2.4　密度对春玉米生理成熟后立秆期的影响

以 x 表示生理成熟后天数, y 表示生理成熟后倒折率(%), 对每个试验年份同一密度的倒折率进行一元线性回归(表 6)。除 2019 年密度 6.0 万株·hm^{-2} 外, 其余年份不同密度处理 R^2 都大于 0.9, 拟合度较好。根据拟合方程, 随着密度增加, 生理成熟期倒折率不断增加, 6.0 万株·hm^{-2}、7.5 万株·hm^{-2} 和 9.0 万株·hm^{-2} 分别平均为 0.4%、1.2%和 2.5%。生理成熟后每推迟 10 d 倒折率增加幅度加大, 2017 年 6.0 万株·hm^{-2}、7.5 万株·hm^{-2} 和 9.0 万株·hm^{-2} 每推迟 10 d 倒折率平均增加 0.3、1.2 和 2.5 个百分点, 2018 年平均增加 0.3、0.6 和 1.1 个百分点, 2019 年平均增加 0.1、0.3 和 0.8 个百分点。综合 3 年研究结果, 3 个密度生理成熟后每推迟 10 d 倒折率分别平均增加 0.2、0.7 和 1.5 个百分点。根据拟合方程, 以国标 GB/T 21962—2008 中规定的玉米机械粒收条件倒折率小于 5%为标准, 预测不同密度的最迟立秆期, 3 年 6.0 万株·hm^{-2} 都可以立秆脱水至 11 月 10 日之后, 7.5 万株·hm^{-2} 在 2017 和 2018 年可分别立秆至 10 月 20 日和 11 月 10 日, 2019 年可立秆至 11 月 10 日之后, 9.0 万株·hm^{-2} 除 2019 年可立秆至 11 月 9 日外, 2017 年和 2018 年仅可立秆至 9 月下旬, 平均最迟立秆期为 10 月 2 日, 后期积温不能很好利用。综合 3 年的研究结果认为, 可充分利用当地积温进行立秆脱水的种植密度为 6.0 万株·hm^{-2} 和 7.5 万株·hm^{-2}。

表 6　2017—2019 年不同种植密度春玉米生理成熟后最迟立秆期预测

Table 6　Prediction of the latest standing stage after physiological maturity of spring maize with different densities in 2017−2019

年份 Year	种植密度 Plant density (×10^{4}plants·hm^{-2})	拟合方程 Fitting equation	R^2	样本量 Sample size	生理成熟期倒折率 Lodging rate at physiological maturity (%)	每推迟 10 d 增加的倒折率 Lodging rate increasing every 10 days after physiological maturity (%)	生理成熟期 (月-日) Physiological maturity (month-day)	预测最迟立秆期 (月-日) Prediction of the latest standing stage (month-day)
2017	6.0	y=0.0285x+0.5721	0.9573	60	0.6	0.3	09-23	—
	7.5	y=0.1191x+1.7525	0.9463	60	1.8	1.2	09-23	10-20
	9.0	y=0.2527x+4.0682	0.9120	60	4.1	2.5	09-23	09-26
2018	6.0	y=0.0304x+0.4957	0.9657	84	0.5	0.3	09-13	—
	7.5	y=0.0559x+1.6802	0.9732	84	1.7	0.6	09-13	11-10
	9.0	y=0.1078x+3.1327	0.9857	84	2.1	1.1	09-13	09-30
2019	6.0	y=0.0104x-0.107	0.8887	87	0.0	0.1	09-11	—
	7.5	y=0.0258x-0.1602	0.9670	87	0.0	0.3	09-11	—
	9.0	y=0.0777x+0.3659	0.9853	87	0.4	0.8	09-11	11-09
平均 Average	6.0				0.4	0.2	09-15	—
	7.5				1.2	0.7	09-15	11-09
	9.0				2.5	1.5	09-15	10-02

"—"为 11 月 10 日之后。"—" shows after Nov. 10.

2.5　密度对春玉米经济产量的影响

3 年研究结果表明(表 7), 该区域特定的气候、土壤和栽培措施条件下, 密度为 7.5 万株·hm^{-2} 时产量最高, 其中 2017 年密度从 6.0 万株·hm^{-2} 增加到 7.5 万株·hm^{-2} 时, 产量显著(P<0.05)增加 5.5%, 当密度增加到 9.0 万株·hm^{-2}时, 产量有所降低, 降低幅度为 2.3%; 2018 年密度从 6.0 万株·hm^{-2} 增加到 7.5 万株·hm^{-2} 时, 产量显著(P<0.05)增加 11.7%, 当密度增加到 9.0 万株·hm^{-2}时, 产量略有降低; 2019 年密度从 6.0 万株·hm^{-2} 增加到 7.5 万株·hm^{-2}时, 产量提高 2.9%, 当密度增加到 9.0 万株·hm^{-2} 时, 产量较 7.5 万株·hm^{-2} 时显著(P<0.05)降低 5.1%。'迪卡 517'和'金科玉 3306'连续 3 年高产稳产性能最好, 产量较高且年际间变异系数较小; DF607 连续 2 年的平均产量最高, 年际变异系数最小; 仅参试 1 年的'DF617'和'中航 102'产量表现较为突出。

2.6　春玉米高产抗倒品种筛选

单产水平是品种产量潜力及其抗逆能力的综合表现, 抗倒性是目前该区域能否进行玉米机械粒收的关键。利用收获期倒折率和产量按照双向平均法筛选高产抗倒处理, 横坐标为产量, 纵坐标为倒折率, 分别对每年不同品种和密度处理进行分类(表 8)。其中, 第Ⅰ象限内倒折率和单产均高于平均值, 表现为高产不抗倒, 可根据具体情况推荐为人工收获和机械穗收; 第Ⅱ象限内单产低于平均值、倒折率高于平均值, 表现为低产不抗倒, 不适于该区域种植; 第Ⅲ象限内倒折率和单产均低于平均值, 表现为低产抗倒, 较为适宜机械粒收, 可作为适宜机械粒收的搭配和补充; 第Ⅳ象限内单产高于平均值、倒折率低于平均值, 表现为高产抗倒, 适宜于该区域进行机械粒收。

表 7　2017—2019 年不同品种、年份及种植密度下的春玉米产量

Table 7　Yields of spring maize with different densities and cultivars in different years in 2017−2019

$\times 10^4$ kg·hm^{-2}

2017 品种 Cultivar	种植密度 Plant density ($\times 10^4$ plants·hm^{-2}) 6.0	7.5	9.0	平均值 Average	变异系数 CV (%)
郑单 958 Zhengdan 958	1.14	1.25	1.07	1.15	8.1
粒收 1 号 Lishou 1	1.21	1.50	1.21	1.31	12.8
金科玉 3306 Jinkeyu 3306	1.17	1.40	1.43	1.33	10.5
迪卡 517 Dika 517	1.27	1.52	1.50	1.43	9.8
华美 1 号 Huamei 1	1.09	1.20	1.26	1.19	7.5
东单 913 Dongdan 913	0.98	1.11	1.06	1.05	6.1
华农 887 Huanong 887	1.00	1.14	1.12	1.08	6.8
广德 5 号 Guangde 5	1.14	1.18	1.03	1.12	7.0
Q9916	1.01	1.11	1.19	1.10	8.3
DF6396	1.14	1.26	1.13	1.18	6.0
LS2042	1.09	1.06	1.03	1.06	3.0
先玉 1622 Xianyu 1622	1.24	1.04	1.18	1.15	8.8
豫单 9953 Yudan 9953	0.99	1.11	0.96	1.02	7.8
龙生 668 Longsheng 668	1.14	0.98	0.97	1.03	9.0
并单 72 Bingdan 72	0.90	1.06	1.09	1.02	10.1
先玉 696 Xianyu 696	1.12	1.01	1.09	1.07	5.4
kx9384	0.84	0.86	0.89	0.87	3.2
中航 102 Zhonghang 102	1.30	1.29	1.29	1.30	0.2
德育 919 Deyu 919	0.94	1.04	1.10	1.03	8.0
张 1453 Zhang 1453	1.28	1.06	1.05	1.13	11.6
最大值 Maximum	1.30	1.52	1.50	1.44	8.6
最小值 Minimum	0.84	0.86	0.89	0.87	3.2
平均值 Average	1.10b	1.16a	1.13ab	1.13	—

2018 品种 Cultivar	种植密度 Plant density ($\times 10^4$ plants·hm^{-2}) 6.0	7.5	9.0	平均值 Average	变异系数 CV (%)
郑单 958 Zhengdan958	1.45±0.11	1.43±0.06	1.56±0.05	1.48	4.6
粒收 1 号 Lishou 1	1.20±0.07	1.22±0.03	1.42±0.03	1.28	9.6
金科玉 3306 Jinkeyu 3306	1.29±0.03	1.52±0.04	1.58±0.07	1.46	10.4
迪卡 517 Dika 517	1.36±0.06	1.53±0.04	1.51±0.14	1.47	6.2
华美 1 号 Huamei 1	1.41±0.15	1.51±0.07	1.53±0.02	1.49	4.3
东单 913 Dongdan 913	1.18	1.47	1.48	1.38	12.6
华农 887 Huanong 887	1.53	1.45	1.51	1.49	2.7
广德 5 号 Guangde 5	1.35	1.54	1.55	1.48	7.8
Q9916	1.27	1.50	1.32	1.36	8.9
DF6396	1.32	1.47	1.52	1.44	7.5
中地 88 Zhongdi 88	1.43	1.55	1.50	1.49	4.0
泽玉 8911 Zeyu 8911	1.28±0.07	1.41±0.02	1.57±0.02	1.42	10.0
京农科 728 Jingnongke 728	1.17	1.40	1.26	1.28	8.8
DF607	1.45	1.69	1.60	1.58	7.5
利单 638 Lidan 638	1.12	1.49	1.36	1.32	14.3
科沃 674 Kewo 674	1.33	1.45	1.36	1.38	4.4
最大值 Maximum	1.53	1.69	1.60	1.58	14.3
最小值 Minimum	1.12	1.22	1.26	1.28	2.7
平均值 Average	1.32b	1.48a	1.47a	1.42	—

2019 品种 Cultivar	种植密度 Plant density ($\times 10^4$ plants·hm^{-2}) 6.0	7.5	9.0	平均值 Average	变异系数 CV (%)	平均值 Average	变异系数 CV (%)
郑单 958 Zhengdan958	1.21±0.07	1.31±0.11	1.14±0.11	1.22	7.0	1.28	13.5
粒收 1 号 Lishou 1	1.12±0.12	1.24±0.14	1.18±0.11	1.18	5.4	1.26	5.4
金科玉 3306 Jinkeyu 3306	1.26±0.08	1.38±0.15	1.28±0.13	1.31	4.8	1.37	6.0
迪卡 517 Dika 517	1.23±0.15	1.31±0.02	1.26±0.21	1.27	2.9	1.39	7.6
华美 1 号 Huamei 1	1.15±0.03	1.19±0.11	1.10±0.09	1.15	4.0	1.28	14.6
东单 913 Dongdan 913	1.09	1.10	1.18	1.13	4.3	1.19	14.5
华农 887 Huanong 887	1.24	1.39	1.40	1.34	6.8	1.30	15.9
广德 5 号 Guangde 5	1.37	1.32	1.12	1.27	10.5	1.29	14.0
Q9916	1.23	1.47	1.37	1.35	8.9	1.27	11.6
DF6396	1.26	1.21	1.09	1.19	7.3	1.27	11.6
中地 88 Zhongdi 88	1.23±0.09	1.30±0.07	1.23±0.03	1.25	3.2	1.37	12.4
泽玉 8911 Zeyu 8911	1.19	1.28	1.07	1.18	8.9	1.30	13.1
京农科 728 Jingnongke 728	1.09	0.96	0.92	0.99	9.0	1.14	18.1
DF607	1.49	1.40	1.51	1.47	3.8	1.53	5.1
DF617	1.43	1.46	1.49	1.46	2.0		
瑞普 909 Ruipu909	1.40	1.29	1.19	1.29	8.3		
大丰 30 Dafeng30	1.33	1.32	1.30	1.32	1.3		
最大值 Maximum	1.49	1.47	1.51	1.47	10.5		
最小值 Minimum	1.09	0.96	0.92	0.99	1.3		
平均值 Average	1.25ab	1.29a	1.22b	1.26	—		

同行不同小写字母表示不同种植密度在 $P<0.05$ 水平差异显著。Values of average of different plant densities followed by different lowercase letters in the same line are significantly different at $P<0.05$ level.

http://www.ecoagri.ac.cn

表 8　2017—2019 年春玉米收获期产量和倒折率双向平均法分类和筛选

Table 8　Classification and selection results of two-way average method with yield and lodging rate of harvest period of spring maize in 2017−2019

2017				2018				2019			
品种 Cultivar	6.0×10^4 plants·hm^{-2}	7.5×10^4 plants·hm^{-2}	9.0×10^4 plants·hm^{-2}	品种 Cultivar	6.0×10^4 plants·hm^{-2}	7.5×10^4 plants·hm^{-2}	9.0×10^4 plants·hm^{-2}	品种 Cultivar	6.0×10^4 plants·hm^{-2}	7.5×10^4 plants·hm^{-2}	9.0×10^4 plants·hm^{-2}
郑单 958 Zhengdan 958	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	郑单 958 Zhengdan 958	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	郑单 958 Zhengdan958	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ
粒收 1 号 Lishou 1	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	粒收 1 号 Lishou 1	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	粒收 1 号 Lishou 1	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ
金科玉 3306 Jinkeyu 3306	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	金科玉 3306 Jinkeyu 3306	Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ	金科玉 3306 Jinkeyu 3306	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ
迪卡 517 Dika 517	Ⅳ	Ⅳ	Ⅰ	迪卡 517 Dika 517	Ⅲ	Ⅳ	Ⅰ	迪卡 517 Dika 517	Ⅲ	Ⅳ	Ⅱ
华美 1 号 Huamei 1	Ⅲ	Ⅳ	Ⅰ	华美 1 号 Huamei 1	Ⅲ	Ⅳ	Ⅰ	华美 1 号 Huamei 1	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ
东单 913 Dongdan 913	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	东单 913 Dongdan 913	Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ	东单 913 Dongdan 913	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ
华农 887 Huanong 887	Ⅲ	Ⅳ	Ⅱ	华农 887 Huanong 887	Ⅳ	Ⅳ	Ⅰ	华农 887 Huanong 887	Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ
广德 5 号 Guangde 5	Ⅳ	Ⅰ	Ⅱ	广德 5 号 Guangde 5	Ⅲ	Ⅳ	Ⅰ	广德 5 号 Guangde 5	Ⅳ	Ⅳ	Ⅲ
Q9916	Ⅲ	Ⅲ	Ⅳ	Q9916	Ⅲ	Ⅳ	Ⅱ	Q9916	Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ
DF6396	Ⅳ	Ⅳ	Ⅰ	DF6396	Ⅲ	Ⅰ	Ⅰ	DF6396	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ
LS2042	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	中地 88 Zhongdi 88	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	中地 88 Zhongdi 88	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ
先玉 1622 Xianyu 1622	Ⅳ	Ⅲ	Ⅳ	泽玉 8911 Zeyu 8911	Ⅲ	Ⅲ	Ⅳ	泽玉 8911 Zeyu 8911	Ⅲ	Ⅳ	Ⅱ
豫单 9953 Yudan 9953	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	京农科 728 Jingnongke 728	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	京农科 728 Jingnongke 728	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
龙生 668 Longsheng 668	Ⅳ	Ⅱ	Ⅱ	DF607	Ⅳ	Ⅳ	Ⅰ	DF607	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ
并单 72 Bingdan 72	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	利单 638 Lidan 638	Ⅲ	Ⅳ	Ⅲ	DF617	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ
先玉 696 Xianyu 696	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	科沃 674 Kewo 674	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	瑞普 909 Ruipu909	Ⅳ	Ⅳ	Ⅲ
kx9384	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	—	—	—	—	大丰 30 Dafeng30	Ⅳ	Ⅳ	Ⅰ
中航 102 Zhonghang 102	Ⅳ	Ⅳ	Ⅰ	—	—	—	—	—	—	—	—
德育 919 Deyu 919	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	—	—	—	—	—	—	—	—
张 1453 Zhang 1453	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ	—	—	—	—	—	—	—	—
合计 Total 第Ⅰ象限出现次数 Number of occurrences in quadrant Ⅰ	1	2	4	—	2	4	8	—	0	2	1
第Ⅱ象限出现次数 Number of occurrences in quadrant Ⅱ	0	2	10	—	0	1	3	—	2	1	8
第Ⅲ象限出现次数 Number of occurrences in quadrant Ⅲ	10	9	2	—	12	2	2	—	8	4	3
第Ⅳ象限出现次数 Number of occurrences in quadrant Ⅳ	9	7	4	—	2	9	3	—	7	10	5
抗倒处理所占比例 Anti lodging treatment ratio (%)	95.0	80.0	30.0		87.5	68.8	31.3		88.2	82.4	47.1
高产抗倒处理所占比例 Ratio of high yield and anti lodging treatment (%)	45.0	35.0	20.0		12.5	56.3	18.8		41.2	58.8	29.4

http://www.ecoagri.ac.cn

3 年稳定表现出高产抗倒的品种为‘金科玉 3306’(7.5 万株·hm^{-2})、‘金科玉 3306’(9.0 万株·hm^{-2})、‘迪卡 517’(7.5 万株·hm^{-2})和‘华农 887’(7.5 万株·hm^{-2}), 平均收获期倒折率为 1.7%, 平均单产为 14 091.8 kg·hm^{-2}, 可推荐为该区域春玉米适宜机械粒收品种和密度; 3 年稳定表现为抗倒(高产抗倒或低产抗倒)的品种包括‘粒收 1 号’‘金科玉 3306’‘迪卡 517’‘华美 1 号’‘东单 913’‘华农 887’‘广德 5 号’‘Q9916’和‘DF6396’(6.0 万株·hm^{-2})以及‘粒收 1 号’‘华美 1 号’‘东单 913’和‘Q9916’ (7.5 万株·hm^{-2}), 平均收获期倒折率为 1.2%, 平均单产为 12 471.4 kg·hm^{-2}, 可推荐为春玉米较为适宜机械粒收品种和密度; 连续 3 年都稳定表现出不抗倒(高产不抗倒或低产不抗倒)的品种包括‘郑单 958’(6.0 万株·hm^{-2}、7.5 万株·hm^{-2} 和 9.0 万株·hm^{-2})、‘迪卡 517’(9.0 万株·hm^{-2})和‘华美 1 号’ (9.0 万株·hm^{-2}), 平均收获期倒折率为 16.0%, 平均单产为 13 142.2 kg·hm^{-2}, 不适宜目前栽培条件下机械粒收, 可根据具体情况推荐为人工收获或机械穗收。

参试 2 年稳定表现出高产抗倒的品种为‘DF607’(6.0 万株·hm^{-2}、7.5 万株·hm^{-2}); 仅参试 1 年, 表现出非常有潜力的品种有‘DF617’, 在 3 个密度下都表现为高产抗倒, 需要后续进一步验证。

2.7 春玉米高产抗倒适宜播种密度选择

从表 8 可以看出, 不论是什么年型, 随着密度增加, 抗倒处理所占比例逐步降低, 7.5 万株·hm^{-2} 较 6.0 万株·hm^{-2} 平均降低 13.2 个百分点, 9.0 万株·hm^{-2} 较 7.5 万株·hm^{-2} 平均降低 40.9 个百分点。高产抗倒处理所占比例和降水年型关系密切, 2017 年大口期受旱严重, 随着密度增加, 高产抗倒所占比例逐步减少, 表明干旱年份或没有灌溉条件进行机械粒收, 密度以 6.0 万株·hm^{-2} 为宜; 2018 年虽然为平水年, 但底墒较好且补灌及时, 玉米生育期基本不受旱, 密度为 7.5 万株·hm^{-2} 时高产抗倒处理比例最高, 是 6.0 万株·hm^{-2} 的 4.5 倍和 9.0 万株·hm^{-2} 的 3 倍, 因此, 丰水年或有充分灌溉条件的区域进行机械粒收, 一般采取种植密度 7.5 万株·hm^{-2}; 2019 年为干旱年, 虽通过滴灌补水 4 次, 但大口期和灌浆期仍受轻旱, 7.5 万株·hm^{-2} 时高产抗倒处理比例最高, 但仅为 6.0 万株·hm^{-2} 的 1.4 倍, 是 9.0 万株·hm^{-2} 的 2 倍, 因此在有补灌条件的区域进行机械粒收时, 可根据品种耐密情况合理选择 6.0 万株·hm^{-2} 和 7.5 万株·hm^{-2} 两种种植密度, 实现高产抗倒。

3 讨论

3.1 抗倒性是该区域推广机械籽粒技术的关键限制因子

破碎率和田间损失率偏高是当前我国玉米机械粒收存在的主要质量问题, 其中收获期籽粒含水率偏高是导致破碎率高的主要原因[1]。在热量资源相对丰富的春玉米生产区, 玉米生理成熟后有较为充足的热量资源立秆脱水, 收获时籽粒含水率不是制约机械粒收质量和技术推广的首要因素[1,10-12,23-25], 而倒伏是造成玉米机械粒收落穗损失的重要原因之一[5,23], 因此, 该阶段植株的抗倒性更应引起重视。对 2013—2017 年全国 11 个省市自治区的 41 个田块的研究表明[5], 玉米机械粒收总损失率平均为 4.76%, 略低于国标(GB/T 21962－2008)≤5%的标准, 但田块间差异较大, 特定条件下也出现了较严重的落粒和落穗损失, 是当前制约玉米籽粒机械收获技术推广的一个重要因素[9,26], 且茎折对机械粒收落穗率的影响远高于根倒。本研究中区域热量资源丰富, 以常年 4 月下旬至 5 月上旬播种, 春玉米生理成熟后可利用的立秆脱水期约 5~7 周, 明显超过一般玉米机械粒收要求的生理成熟后 2~4 周, 且倒伏连续 3 年全部表现为茎折, 因此抗倒性对该区域推广应用春玉米机械粒收技术就变得更为重要。

3.2 生理成熟后倒伏变化对密度的响应

增密种植与立秆延期收获是机械粒收技术发展和推广的重要措施[2], 而玉米生长后期倒伏是限制种植密度进一步提升的重要因素[8]。前人研究表明, 增密种植不同程度上增加了玉米植株间的竞争压力, 改变了个体和群体的结构与功能, 影响了玉米茎秆形态建成、碳水化合物积累与分配、根系形态与结构、茎秆力学强度等, 增大倒伏风险[14-19,27-29]。而增密种植后随着田间立秆籽粒脱水时间延长, 会加速玉米生长后期茎秆衰老进程[6], 降低茎秆抗病能力[30], 茎秆质量快速下降, 倒伏加重[21]。本研究中也得到类似的结果, 随着密度增加, 生理成熟期倒折率和生理成熟后倒折率随立秆期延长的增加幅度明显增加, 6.0 万株·hm^{-2}、7.5 万株·hm^{-2} 和 9.0 万株·hm^{-2} 玉米生理成熟期倒折率分别为 0.4%、1.2% 和 2.5%, 生理成熟后每推迟 10 d 倒折率分别平均增加 0.2 个、0.7 个和 1.5 个百分点, 以国标 GB/T 21962—2008 的玉米机械粒收条件为标准, 密度越大生理成熟后立秆脱水期越短, 9.0 万株·hm^{-2} 仅可立秆至 10 月初, 而 6.0 万株·hm^{-2}、7.5 万株·hm^{-2} 可充分利用当地热量资源立秆脱水至 11 月。密度

对生理成熟后倒折率及立秆期的影响显著, 但耐密抗倒品种的选择更为重要[31], 本研究也得到同样研究结果。

3.3 高产抗倒品种筛选是该区域推广机械粒收技术的重要措施

耐密抗倒高产适合机械收粒品种选择是实施玉米密植高产全程机械化生产技术的关键措施[2]。生理成熟前发生倒伏影响玉米籽粒灌浆速率, 对产量影响较大[18,32], 而生理成熟后倒伏对产量影响较小, 但会增加机械粒收过程中的落穗数量, 降低机收产量[5-8]。本研究利用适宜收获期倒折率和产量按照双向平均法筛选高产抗倒品种, 连续 3 年都处于第Ⅳ象限, 稳定表现出高产抗倒的品种为‘金科玉 3306’(7.5 万株·hm^{-2})、‘金科玉 3306’(9.0 万株·hm^{-2})、‘迪卡 517’(7.5 万株·hm^{-2})和‘华农 887’(7.5 万株·hm^{-2}), 收获期平均倒折率为 1.7%, 平均产量为 14 091.8 kg·hm^{-2}, 可推荐为该区域推广春玉米机械粒收技术的适宜品种和密度; 连续参试 2 年都稳定表现出高产抗倒的品种为‘DF607’(6.0 万株·hm^{-2}、7.5 万株·hm^{-2}); 仅参试 1 年表现出非常有潜力的品种为‘DF617’, 在 3 个密度下都表现为高产抗倒, 需要后续进一步进行验证。筛选出的高产抗倒品种生产应用中也表现出适宜机械粒收的特点[13,33], 因此, 利用适宜收获期倒折率和产量按照双向平均法筛选高产抗倒品种, 为目前热量充足地区发展和推广春玉米机械粒收技术提供了重要措施, 但后续还需对品种的籽粒脱水性、抗茎腐病、穗粒腐病等性状进行考察。

3.4 春玉米机械粒收适宜播种密度的选择

增加种植密度是增产的重要措施, 而密度过高后, 植株抗倒性会显著降低[15-16,18-19], 特别是春玉米生理成熟后立秆脱水过程中抗倒性加速降低[8,21], 最终影响到机械粒收质量和产量[5-7], 因此适宜播种密度是保证获得高产抗倒的前提, 是发展玉米机械粒收技术的关键栽培措施。王荣焕等[17]的研究表明, 综合产量、倒伏率和机收指标, ‘京农科 728’以 7.5 万株·hm^{-2}为籽粒机收最佳播种密度; 曹冰等[19]认为 7.5 万株·hm^{-2} 是适合区域夏玉米高产高效抗倒的栽培模式; 邓妍等[34]认为, 根据品种特性进行合理密植, 协调茎秆生长、土壤水分应用, 更有利于降低倒伏率, 提高产量。本研究中, 在大口期受旱严重年份, 随着密度增加, 高产抗倒处理所占比例逐步减少, 推荐干旱年份或在没有灌溉条件的情况下, 机械粒收以播种密度 6.0 万株·hm^{-2} 为宜; 玉米生育关键期基本不受旱的年份, 密度为 7.5 万株·hm^{-2} 时高产抗倒处理比例远高于其他密度, 推荐丰水年或有充分灌溉条件的情况下, 机械粒收播种密度以 7.5 万株·hm^{-2} 为宜; 大口期和灌浆期受轻旱年份, 密度 7.5 万株·hm^{-2} 时高产抗倒处理比例最高, 其次为 6.0 万株·hm^{-2}, 因此在灌溉能力有限的区域, 机械粒收可根据品种耐密情况合理选择 6.0 万株·hm^{-2} 和 7.5 万株·hm^{-2} 两种播种密度, 来实现高产抗倒。

4 结论

玉米机械粒收技术需求的增密种植与立秆延期收获均会加大玉米生育后期的倒伏风险, 玉米生长后期倒伏是限制种植密度进一步提升的重要因素, 因此, 高产抗倒品种选择更为重要。春玉米 6.0 万株·hm^{-2}、7.5 万株·hm^{-2} 和 9.0 万株·hm^{-2} 种植密度下生理成熟期倒折率分别为 0.4%、1.2%和 2.5%, 生理成熟后倒折率每推迟 10 d 分别平均增加 0.2 个、0.7 个和 1.5 个百分点。以国标 GB/T 21962—2008 中规定的玉米机械粒收条件倒折率小于 5%为标准, 密度 9.0 万株·hm^{-2} 仅可立秆至 10 月 2 日, 而 6.0 万株·hm^{-2} 和 7.5 万株·hm^{-2} 可充分利用当地积温立秆脱水至 11 月。连续 3 年稳定表现出高产抗倒的品种为‘金科玉 3306’(7.5 万株·hm^{-2})、‘金科玉 3306’(9.0 万株·hm^{-2})、‘迪卡 517’(7.5 万株·hm^{-2})和‘华农 887’(7.5 万株·hm^{-2}), 可推荐为该区域春玉米适宜机械粒收的品种和密度。一般情况下, 当没有灌溉条件时, 播种密度选择 6.0 万株·hm^{-2}, 满足充分灌溉条件时, 选择 7.5 万株·hm^{-2}, 当灌溉条件受限时, 可根据品种耐密性合理选择 6.0 万株·hm^{-2} 或 7.5 万株·hm^{-2} 两种种植密度, 以实现高产抗倒, 最终提高春玉米机械粒收的质量和产量。

参考文献 References

[1] 李少昆. 我国玉米机械粒收质量影响因素及粒收技术的发展方向[J]. 石河子大学学报: 自然科学版, 2017, 35(3): 265–272
LI S K. Factors affecting the quality of maize grain mechanical harvest and the development trend of grain harvest technology[J]. Journal of Shihezi University: Natural Science, 2017, 35(3): 265–272

[2] 李少昆, 王克如, 谢瑞芝, 等. 实施密植高产机械化生产实现玉米高产高效协同[J]. 作物杂志, 2016, (4): 1–6
LI S K, WANG K R, XIE R Z, et al. Implementing higher population and full mechanization technologies to achieve high yield and high efficiency in maize production[J]. Crops, 2016, (4): 1–6

[3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 21962—2008 玉米收获机械技术条件[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008

General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Management Committee. GB/T 21962—2008 Technical Requirements for Maize Combine Harvester[S]. Beijing: China Standards Press, 2008

[4] 王克如, 李少昆. 玉米机械粒收破碎率研究进展[J]. 中国农业科学, 2017, 50(11): 2018–2026
WANG K R, LI S K. Progresses in research on grain broken rate by mechanical grain harvesting[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(11): 2018–2026

[5] 薛军, 李璐璐, 谢瑞芝, 等. 倒伏对玉米机械粒收田间损失和收获效率的影响[J]. 作物学报, 2018, 44(12): 1774–1781
XUE J, LI L L, XIE R Z, et al. Effect of lodging on maize grain losing and harvest efficiency in mechanical grain harvest[J]. Acta Agronomica Sinica, 2018, 44(12): 1774–1781

[6] 薛军, 王群, 李璐璐, 等. 玉米生理成熟后倒伏变化及其影响因素[J]. 作物学报, 2018, 44(12): 1782–1792
XUE J, WANG Q, LI L L, et al. Changes of maize lodging after physiological maturity and its influencing factors[J]. Acta Agronomica Sinica, 2018, 44(12): 1782–1792

[7] 薛军, 董朋飞, 胡树平, 等. 玉米倒伏对机械粒收损失的影响及倒伏减损收获技术[J]. 玉米科学, 2020, 28(6): 116–120
XUE J, DONG P F, HU S P, et al. Effect of lodging on maize grain loss and loss reduction technology in mechanical grain harvest[J]. Journal of Maize Sciences, 2020, 28(6): 116–120

[8] 薛军, 王克如, 谢瑞芝, 等. 玉米生长后期倒伏研究进展[J]. 中国农业科学, 2018, 51(10): 1845–1854
XUE J, WANG K R, XIE R Z, et al. Research progress of maize lodging during late stage[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2018, 51(10): 1845–1854

[9] 潘伟光, 巩志磊, 卢海阳. 农户玉米收获环节采用机械化的影响因素分析——基于山东省的实证研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(14): 165–172
PAN W G, GONG Z L, LU H Y. Factors analysis on producers' application of mechanized maize harvesting — based on empirical research of Shandong Province[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(14): 165–172

[10] 宫帅, 郭正宇, 张中东, 等. 山西玉米子粒含水率与机械粒收收获质量的关系分析[J]. 玉米科学, 2018, 26(4): 63–67
GONG S, GUO Z Y, ZHANG Z D, et al. Analysis of relationship between maize grain moisture content and quality of mechanical grain harvest in Shanxi[J]. Journal of Maize Sciences, 2018, 26(4): 63–67

[11] 李洪, 阎晓光, 王国梁, 等. 山西省春玉米机械粒收品种筛选与大田示范[J]. 玉米科学, 2018, 26(5): 117–122
LI H, YAN X G, WANG G L, et al. Cultivars selection of high yield spring maize suitable for mechanical kernel harvest and field demonstration in Shanxi[J]. Journal of Maize Sciences, 2018, 26(5): 117–122

[12] 钮笑晓, 张洁, 姚宏亮, 等. 山西省玉米适籽粒直收品种筛选试验研究[J]. 中国农学通报, 2017, 33(24): 20–26
NIU X X, ZHANG J, YAO H L, et al. Selection of mechanical harvest maize varieties in Shanxi Province[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, 33(24): 20–26

[13] 姜春霞, 杨柯, 张冬梅, 等. 山西中晚熟区春玉米宜粒收品种筛选试验[J]. 山西农业科学, 2019, 47(10): 1778–1782
JIANG C X, YANG K, ZHANG D M, et al. Study on mechanically harvesting maize cultivar selection in medium-late maturity region of Shanxi Province[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2019, 47(10): 1778–1782

[14] 马晓君, 路明远, 邢春景, 等. 群体密度对夏玉米穗下茎秆性状及抗倒伏力学特性的影响[J]. 玉米科学, 2018, 26(4): 118–125
MA X J, LU M Y, XING C J, et al. Effects of planting density on stalk and lodging-resistance in summer maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2018, 26(4): 118–125

[15] 刘晓林, 马晓君, 豆攀, 等. 种植密度对川中丘陵夏玉米茎秆性状及产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(3): 356–364
LIU X L, MA X J, DOU P, et al. Effect of planting density on stem characteristics and yield of summer maize in the Hilly Central Sichuan Basin, China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2017, 25(3): 356–364

[16] 徐田军, 吕天放, 陈传永, 等. 种植密度和植物生长调节剂对玉米茎秆性状的影响及调控[J]. 中国农业科学, 2019, 52(4): 629–638
XU T J, LYU T F, CHEN C Y, et al. Effects of plant density and plant growth regulator on stalk traits of maize and their regulation[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(4): 629–638

[17] 王荣焕, 徐田军, 赵久然, 等. 播期和密度对玉米子粒机收主要性状的影响[J]. 玉米科学, 2017, 25(3): 94–98
WANG R H, XU T J, ZHAO J R, et al. Effects of sowing date and planting density on maize grain mechanical harvesting related traits[J]. Journal of Maize Sciences, 2017, 25(3): 94–98

[18] 郭书磊, 陈娜娜, 齐建双, 等. 不同密度下玉米倒伏相关性状与产量的研究[J]. 玉米科学, 2018, 26(5): 71–77
GUO S L, CHEN N N, QI J S, et al. Study on the relationship between yield and lodging traits of maize under different planting densities[J]. Journal of Maize Sciences, 2018, 26(5): 71–77

[19] 曹冰, 朱紫薇, 单娟, 等. 氮肥与密度对夏玉米生理特性、产量及氮肥偏生产力和抗倒性的影响[J]. 山东农业科学, 2019, 51(6): 97–101
CAO B, ZHU Z W, SHAN J, et al. Effects of nitrogen fertilizer and planting density on physiological characteristics, yield, nitrogen partial factor productivity and lodging resistance of summer maize[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2019, 51(6): 97–101

[20] 刘青松, 肖宇, 徐玉鹏, 等. 玉米生理成熟后田间生长性状随站秆时间变化的研究[J]. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版, 2019, 40(2): 19–25
LIU Q S, XIAO Y, XU Y P, et al. Study on traits of spring maize with standing time in field after physiological ripening[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University: Natural Science Edition, 2019, 40(2): 19–25

[21] THOMISON P R, MULLEN R W, LIPPS P E, et al. Corn response to harvest date as affected by plant population and hybrid[J]. Agronomy Journal, 2011, 103(6): 1765–1772

[22] 高尚, 明博, 李璐璐, 等. 黄淮海夏玉米籽粒脱水与气象因子的关系[J]. 作物学报, 2018, 44(12): 1755–1763
GAO S, MING B, LI L L, et al. Relationship between grain dehydration and meteorological factors in the Yellow-Huai-Hai Rivers summer maize[J]. Acta Agronomica Sinica, 2018, 44(12): 1755–1763

[23] 李少昆, 王克如, 王延波, 等. 辽宁中部地区玉米机械粒收质量及其限制因素研究[J]. 作物杂志, 2018, (3): 162–167
LI S K, WANG K R, WANG Y B, et al. The quality of mechanical harvesting maize grain and its influencing factors in central Liaoning Province[J]. Crops, 2018, (3): 162–167

[24] 王永宏, 赵如浪, 李红燕, 等. 宁夏引/扬黄灌区玉米密植高产低水分粒收技术模式探索[J]. 玉米科学, 2019, 27(3): 122–126
WANG Y H, ZHAO R L, LI H Y, et al. Exploration on technology mode of grain mechanical harvest under the condition of low grain moisture and dense planting in Ningxia Yellow River irrigation area[J]. Journal of Maize Sciences, 2019, 27(3): 122–126

[25] 张万旭, 明博, 王克如, 等. 基于品种熟期和籽粒脱水特性的机收粒玉米适宜播期与收获期分析[J]. 中国农业科学, 2018, 51(10): 1890–1898
ZHANG W X, MING B, WANG K R, et al. Analysis of sowing and harvesting allocation of maize based on cultivar maturity and grain dehydration characteristics[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2018, 51(10): 1890–1898

[26] 高巍, 陈志, 黄玉祥, 等. 吉林省农户采用玉米机械化收获的影响因素分析[J]. 农业机械学报, 2012, 43(S1): 175–179
GAO W, CHEN Z, HUANG Y X, et al. Analysis of influencing factors on farmers' adoption of maize mechanized harvesting in Jilin Province[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(S1): 175–179

[27] NOVACEK M J, MASON S C, GALUSHA T D, et al. Twin rows minimally impact irrigated maize yield, morphology, and lodging[J]. Agronomy Journal, 2013, 105(1): 268–276

[28] XUE J, GOU L, ZHAO Y S, et al. Effects of light intensity within the canopy on maize lodging[J]. Field Crops Research, 2016, 188: 133–141

[29] 勾玲, 黄建军, 张宾, 等. 群体密度对玉米茎秆抗倒力学和农艺性状的影响[J]. 作物学报, 2007, 33(10): 1688–1695
GOU L, HUANG J J, ZHANG B, et al. Effects of population density on stalk lodging resistant mechanism and agronomic characteristics of maize[J]. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(10): 1688–1695

[30] 高增贵, 陈捷, 邹庆道, 等. 玉米穗、茎腐病病原学相互关系及发病条件的研究[J]. 沈阳农业大学学报, 1999, 30(3): 215–218
GAO Z G, CHEN J, ZOU Q D, et al. Study on relationship of pathogen types with condition for disease occurrence maize ear rot and stalk rot[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 1999, 30(3): 215–218

[31] 刘鑫, 谢瑞芝, 牛兴奎, 等. 种植密度对东北地区不同年代玉米生产主推品种抗倒伏性能的影响[J]. 作物杂志, 2012, (5): 126–130
LIU X, XIE R Z, NIU X K, et al. Effects of planting density on lodging resistance performance of maize varieties of different eras in north-east China[J]. Crops, 2012, (5): 126–130

[32] 许莹莹, 马青美, 宋希云, 等. 不同玉米品种倒伏抗性与产量相关性状的聚类和相关分析[J]. 玉米科学, 2019, 27(5): 15–21
XU Y Y, MA Q M, SONG X Y, et al. Cluster and correlation analysis of lodging-resistance and yield related traits in different maize varieties[J]. Journal of Maize Sciences, 2019, 27(5): 15–21

[33] 王金涛, 董心亮, 肖宇, 等. 基于扩散理论的华北春玉米生理成熟后籽粒脱水过程分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(4): 545–557
WANG J T, DONG X L, XIAO Y, et al. Analysis of kernel dry down process after physiological maturity of spring maize based on diffusion theory in the North China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 28(4): 545–557

[34] 邓妍, 王创云, 赵丽, 等. 群体密度对玉米茎秆性状、土壤水分的影响及其与产量、倒伏率的关系[J]. 华北农学报, 2017, 32(5): 216–223
DENG Y, WANG C Y, ZHAO L, et al. Effects of population density on the stem traits and soil moisture in maize and their correlation with yield and lodging rate[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2017, 32(5): 216–232