

4个玉米品种抗逆性的比较分析

郝俊杰¹, 李永强¹, 刘佳中¹, 谢淑娜¹, 王新涛², 丁俊强³, 叶建荣⁴, 宋晓⁵, 郝国太⁶

(1. 河南省农业科学院植物保护研究所, 河南郑州 450002; 2. 河南省农业科学院作物设计中心, 河南郑州 450002; 3. 河南农业大学农学院, 河南郑州 450002; 4. 中国农业大学国家玉米改良中心, 北京 100193; 5. 河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所, 郑州 450002; 6. 孟州市农业技术推广中心, 河南孟州 454750)

摘要 [目的]优良的高产品种通常被证明对生物和非生物逆境、营养元素的配置利用及变化的环境具有较强的抗(耐)性和适应性。[方法]以4个玉米杂交种郑单958、先玉335、鼎优919和伟科702为材料,对其抗倒性、不同温度下的花粉活性、抗旱棚内的全程干旱胁迫及不同氮处理(0和150 kg/hm²)进行测定和调查,比较分析和评价品种间抗逆性的差异。[结果]成熟期抗倒性的结果表明,不同玉米品种的抗倒能力由高到低依次为鼎优919、郑单958、伟科702、先玉335,其中鼎优919的倒伏率最低,抗倒性最强。不同温度下花粉活力的试验结果表明,先玉335花粉对高温最敏感,鼎优919和郑单958表现较强的抗高温特性。干旱胁迫试验结果表明,先玉335对干旱最敏感,鼎优919、郑单958和伟科702表现出中等的抗旱能力。低氮胁迫的结果表明,鼎优919和先玉335表现出较强的氮利用能力和中等的耐低氮能力,伟科702两项指标均为中等,郑单958为弱。[结论]该研究结果为品种的推广利用、抗逆品种选育和改良提供了参考。

关键词 玉米杂交种;非生物逆境;抗逆性

中图分类号 S513 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)05-0043-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.05.013



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Comparative Analysis of Resistance to Abiotic Stresses in Four Maize Hybrids
HAO Jun-jie, LI Yong-qiang, LIU Jia-zhong et al (Plant Protection Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou, Henan 450002)

Abstract [Objective] High yielding varieties with proven tolerance to biotic and abiotic stresses, superior nutritional profiles, and the ability to adapt to the changing environment are needed for continued agricultural sustainability. The aim of this study was to evaluate and compare four maize hybrids with contrasting abiotic-resistant phenotypic traits and to characterize how the phenotypic differences contribute to the development and deployment. [Method] Four maize varieties Zhengdan 958, Xianyu 335, Dingyou 919 and Weike702, were used to systematically study their resistance to abiotic stresses of loading, high temperature, drought and low nitrogen. [Result] The results of loading showed that the order of the loading-resistance capacity was in the order of Dingyou 919, Zhengdan 958, Weike 702, Xianyu 335 at ripe stage, and among them, Dingyou 919 had the lowest loading rate. Dingyou 919 and Zhengdan 958 had a higher resistance to high temperature according to the pollen viability under the different temperature treatments for an hour. And Xianyu 335 was the most sensitive to high temperature and drought stresses. However, the three varieties, Dingyou 919, Zhengdan 958 and Weike 702, all had a medium resistance to drought stress. Under the low nitrogen stress, Dingyou 919 and Xianyu 335 showed a higher nitrogen utilization capacity and a medium tolerance in low nitrogen conditions, and Weike 702 had a medium tolerance to nitrogen utilization capacity and tolerance low nitrogen capacity. However, Zhengdan 958 was the most sensitive to low nitrogen stress. [Conclusion] This research provides references for the promotion of variety, the breeding and improvement of variety with resistance.

Key words Maize hybrid; Abiotic stress; Resistance to abiotic stress

玉米在种植过程中通常会受到生物和非生物逆境的胁迫,常见的生物逆境有病、虫、草等,常见的非生物逆境有低温、高温、干旱、大风等。研究表明,一个优良的高产稳产品种通常对生物和非生物逆境及变化的环境具有较强的抗(耐)逆性或适应性^[1]。

黄淮海作为我国玉米重要种植区,年种植面积约1 000万hm²,占全国玉米种植面积的32%左右^[2]。该区域由有害生物和非有害生物引起的灾害易发频发问题一直是影响玉米产量和品质的关键因素,特别是玉米种植过程中面临的倒伏倒折、高温、干旱、茎腐病、叶部病害、穗部病虫害等突出的逆境问题^[2-4],既影响品种的适应性和稳定性,也影响种植户的收益和田间机械操作。

氮是玉米生长发育、产量形成和品质保障所需的重要营

养成分^[5],针对不同区域或耕作制度,玉米栽培专家对氮肥的使用提出了氮肥深施、氮肥后移、平衡施肥等施肥技术^[2,6]。但我国作为一个农药和化肥使用大国,过量使用导致了土壤板结、地下水污染等一系列生态和环境问题,因此,政府提出减肥减药的“双减”计划;国内的玉米栽培学者也提出要研发资源节约型玉米生产新技术、新产品,实现“一控两减”(控水、减肥、减药),实现玉米的高产高效协同与可持续增产^[2]。2017年我国新修订的《主要农作物品种审定标准(国家级)》也突出绿色发展,强调有利于节水、节肥、节药品种审定,有利于优质、适宜机械作业品种审定,来满足资源高效利用和农业可持续发展对品种的要求。

郑单958和先玉335是过去10余年我国种植面积最大的2个玉米品种;伟科702是黄淮海区域近几年种植面积较大的品种鼎优919是河南省新审定的玉米品种,不同品种在适应性、稳定性和抗逆性等方面各有特点^[7]。鉴于此,笔者对这4个品种的抗倒性、干旱、高温和低氮4个逆境抗性进行比较,分析这4个品种在不同非生物逆境胁迫下的响应特

基金项目 “十三五”国家重点研发计划(2017YFD0301104;2018YFD0300708)。

作者简介 郝俊杰(1978—),男,河南登封人,副研究员,博士,从事玉米病害和遗传育种研究。

收稿日期 2020-02-12

征,通过与已大面积推广的优良品种进行比较,为新审定品种的推广应用和新品种的培育提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料 选用适宜河南省夏玉米种植的 4 个玉米杂交种:郑单 958、先玉 335、伟科 702 和鼎优 919。

1.2 试验设计 试验于 2018 年 6—10 月进行。其中茎秆强度、抗倒和花粉活性田间调查取样试验种植在河南省长葛市国家农作物品种区试站(34°10′22.51″N,113°52′6.73″E),试验地土壤肥力中等,前茬作物为小麦,施肥、灌溉、除草等田间正常管理;抗旱和高低氮试验种植在河南省原阳县河南现代农业研究开发基地河南省农业科学院粮食作物研究所(35°0′40.22″N,113°42′20.15″E)专用试验设施内。

1.2.1 抗倒性。长葛点茎秆强度测定试验于 2018 年 6 月 10 日播种,采用随机区组设计,3 次重复,7 行区,6.0 m 行长,行距 0.6 m。除郑单 958 的种植密度为 67 500 株/hm²处,其余 3 个杂交种的种植密度均为品种审定时推荐密度 60 000 株/hm²。

在吐丝散粉期(8 月 5 日)和收获前(9 月 25 日),采用植物茎秆强度测定仪 YDD-1B(浙江托普云农科技股份有限公司)分别对茎秆组织结构强度和弯折性能进行测定。选择地上茎基部第 3 节中间位置,缓慢匀速的将穿刺针刺入茎秆中,读取穿透茎秆表皮的受力峰值;同样,茎秆弯折强度也是在茎秆中部匀速推压,注意用力不可过大,进行弯折性能测量并记录数值,以上 2 个性状每小区测定 10 株。此外,在收获前对自然条件下的倒伏倒折情况进行调查,每小区调查中间 3 行。

1.2.2 花粉活性测定。在散粉高峰期(8 月 5 日前后),在长葛试点 10:00 前后(空气温度约 31℃),对前 1 天下午套袋的雄穗花粉进行取样并带回室内混合,每小区取样不少于 10 株。带回室内的花粉立即放置到电热恒温干燥箱内,设置不同温度处理 1 h,共设 4 个温度水平:33、35、37、39℃。取出后采用 TTC 法测定花粉活力^[8],以田间 31℃取样的花粉作为对照,每个样品测定 3 次,在显微镜下观察,根据染色深浅判断花粉活力强弱,将染为红色的花粉记录为染色率,代表花粉活力。

1.2.3 干旱试验。试验在河南省农业科学院粮食作物研究所抗逆中心专用的抗旱性鉴定池内进行,池上方有电动防雨棚,可隔绝降雨,晴天防雨棚完全开放,雨天关闭。试验池配有灌溉设施,可利用智能水表按预先设好的水量进行喷灌。试验池中土壤为潮土,地力均匀。

试验设干旱胁迫和非干旱胁迫 2 个水平,肥料作为底肥一次性施入,播前保持土壤含水量大于等于田间持水量的 85%,以保证出苗。其中干旱胁迫处理播种前使 0~50 cm 土层水分达到田间持水量的 85%,出苗后至收获每 3 d 测定土壤水分含量,视墒情补水,保持土壤含水量为田间持水量的 60%,以保证一定产量;非干旱胁迫处理设置在相邻池子内,保持土壤含水量≥85%田间持水量。4 个杂交种,单行区,3 次重复,行距 0.5 m,行长 3.0 m,每行种 15 株,其他田间管理

同大田。收获后调查各小区产量。

参考唐保军等^[9]制定的玉米杂交种抗旱性鉴定评价技术规程来评价抗旱性。采用抗旱系数(DRC)与抗旱指数(DRI)对供试 4 个玉米杂交种的全生育期抗旱性进行计算: $DRC = Y_a/Y_m$, $DRI = DRC \times (Y_a/Y_{-a})$,式中 Y_a 为参试品种的干旱胁迫处理产量, Y_m 为参试品种的非干旱胁迫处理产量, Y_{-a} 为所有参试品种的干旱胁迫处理平均产量;抗旱性的分级(1~5)和评价(极强~极弱)方法同样参考唐保军等^[9]制定的标准。

1.2.4 氮利用和耐低氮试验。试验采用裂区设计,主因素为施氮量(包括纯氮 0 和 150 kg/hm² 共 2 个水平,即 N0 和 N1);副因素为供试的 4 个杂交种,共 8 个处理,每个处理 3 次重复,3 行区,行长 3.0 m,行距 0.6 m,种植密度 67 500 株/hm²。磷钾肥的施肥量均为 150 kg/hm²。

土壤基础值:低氮区(N0)为全氮 0.522 g/kg,碱解氮 30.29 mg/kg,速效磷 13.80 mg/kg,速效钾 164.10 mg/kg,有机质 7.7%,pH 8.3;正常氮区(N1)为全氮 0.582 g/kg,碱解氮 69.22 mg/kg,速效磷 29.65 mg/kg,速效钾 192.53 mg/kg,有机质 7.8%,pH 8.3。低氮区和正常氮区的土壤基础是经过连续 4 年以上 N0 和 N1 施肥处理形成的。

肥料种类:氮肥使用尿素(46%),磷肥使用过磷酸钙(约 12%),钾肥使用氯化钾(约 60%)。施肥方法:尿素按照 1:1 分基施和大喇叭口期追施施用,磷钾肥均基施。田间管理同大田。收获后调查各小区产量。

采用氮利用指数(NUI)和耐低氮指数(NRI)对供试材料的氮利用能力和耐低氮能力进行计算^[10]: $NUI = (GY_L/GY_{LA}) \times (GY_N/GY_{NA})$, $NRI = (GY_L)^2 / (GY_{LA} \times GY_{NA})$,式中 GY_L 为待测品种低氮胁迫条件下的产量, GY_{LA} 为所有待测品种低氮胁迫条件下的平均产量, GY_N 为待测品种正常施氮条件下的产量, GY_{NA} 为所有待测品种在正常施氮条件下的平均产量。氮利用能力和耐低氮能力的分级(1~5)和评价(极强~极弱)标准参考朱卫红等^[10]制定的标准。

1.3 数据统计分析 采用 SAS 9.2 软件进行统计分析;采用 LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 品种间抗倒性的比较 随着生育进程的推进,从散粉期到收获前,4 个玉米品种茎秆抗弯折强度和穿刺强度均呈下降趋势(表 1)。在散粉期,4 个品种茎秆抗弯折强度表现为郑单 958>鼎优 919>先玉 335>伟科 702,其中郑单 958 显著高于伟科 702($P<0.05$),但郑单 958、鼎优 919 和先玉 335 品种间差别不显著($P>0.05$);穿刺强度表现为郑单 958>鼎优 919>伟科 702>先玉 335,其中郑单 958 显著高于先玉 335,但郑单 958、鼎优 919 和伟科 702 间差别不显著。在成熟期,茎秆抗弯折强度和穿刺强度均为鼎优 919>郑单 958>伟科 702>先玉 335,其中鼎优 919 和郑单 958 差别不显著,但显著高于先玉 335。收获前调查的倒伏率为先鼎优 919 < 郑单 958 < 伟科 702 < 玉 335,其中先玉 335 显著高于郑单 958 和鼎优 919,表明鼎优 919 的抗倒性最强,先玉 335 最差。

在散粉期和成熟期,郑单 958 和鼎优 919 茎秆的抗弯折强度和穿刺强度较高,其倒伏率也较低;而抗弯折强度和穿

刺强度较低的伟科 702 和先玉 335 则倒伏率较高,表明较高的抗弯折强度和穿刺强度可以降低玉米的倒伏率。

表 1 4 个玉米品种抗弯折强度、穿刺强度及倒伏率比较

Table 1 Comparison of bending strength, rind penetrometer resistance and lodging rate of four maize varieties at different stages					
品种名称 Variety name	抗弯折强度 Bending strength resistance//Kpa		穿刺强度 Rind penetrometer resistance//Kpa		倒伏率 Lodging rate//%
	散粉期 Pollen-shedding stage	成熟期 Ripening stage	散粉期 Pollen-shedding stage	成熟期 Ripening stage	成熟期 Ripening stage
郑单 958 Zhengdan 958	1 037. 98 a	632. 69 ab	790. 05 a	678. 72 ab	11. 09 b
先玉 335 Xianyu 335	918. 89 ab	604. 70 b	654. 65 b	555. 80 b	38. 30 a
鼎优 919 Dingyou 919	961. 23 ab	685. 79 a	714. 29 ab	713. 58 a	10. 02 b
伟科 702 Weike 702	846. 01 b	611. 52 b	674. 98 ab	619. 69 ab	23. 33 ab

注:同列不同小写字母表示在 0. 05 水平差异显著
Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0. 05 level

2.2 温度对花粉活性的影响 以各品种 31 ℃ 自然条件下的花粉活性作为对照,发现 4 个品种花粉活性均在 85% 以上。从不同的温度处理来看,在 33、35、37 和 39 ℃ 处理 1 h 情况下,郑单 958 和鼎优 919 的花粉活性均显著高于先玉 335;除了在 39 ℃ 条件下,郑单 958 显著高于鼎优 919 以外,其他处理温度下两者差异不显著,表明两者花粉活力均具有较强的抗高温特性。

随着温度的升高,4 个玉米品种的花粉活力逐渐下降,表明高温胁迫对玉米杂交种的花粉活力有显著影响(表 2)。33 ℃ 处理 1 h 时,先玉 335 和伟科 702 花粉活力比对照分别下降 9. 3% 和 6. 3%,较鼎优 919 和郑单 958 花粉活力下降不明显;35 ℃ 胁迫 1 h 时,先玉 335、郑单 958、伟科 702 和鼎优

919 花粉活力比对照分别下降 19. 5%、15. 1%、14. 9% 和 11. 5%,其中先玉 335 下降最多,鼎优 919 下降最少;37 ℃ 胁迫 1 h 时,4 个玉米品种的花粉活力都出现迅速下降,其中先玉 335、伟科 702、郑单 958 和鼎优 919 花粉活力分别比对照下降 43. 9%、41. 6%、36. 5% 和 34. 4%,其中先玉 335 下降最多,鼎优 919 下降最少;39 ℃ 胁迫 1 h 时,4 个玉米品种的花粉活力下降更加明显,其中鼎优 919、郑单 958、伟科 702 和先玉 335 的花粉活力降至 25. 5%、27. 4%、22. 8% 和 20. 9%,比对照分别下降 60. 1%、60. 5%、67. 3% 和 64. 0%。综上所述,先玉 335 花粉活力对高温最敏感,易受高温影响,而郑单 958 和鼎优 919 花粉活力抗高温性能相对较高。

表 2 高温胁迫对不同玉米品种花粉活力的影响

Table 2 Effect of high temperature stress on pollen viability of maize hybrids					
品种名称 Variety name	温度 Temperature				
	31 ℃ (CK)	33 ℃	35 ℃	37 ℃	39 ℃
郑单 958 Zhengdan 958	87. 9 ab	82. 9 a	72. 9 a	51. 5 a	27. 4 a
先玉 335 Xianyu 335	88. 2 a	80. 0 b	68. 7 b	44. 3 b	20. 9 d
鼎优 919 Dingyou 919	85. 6 c	81. 9 a	74. 1 a	51. 2 a	25. 5 b
伟科 702 Weike 702	86. 9 b	80. 6 ab	72. 0 a	45. 2 b	22. 8 c

注:同列不同小写字母表示在 0. 05 水平差异显著
Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0. 05 level

2.3 干旱胁迫下不同玉米品种的抗旱性比较 干旱胁迫下的 4 个玉米品种产量低于非干旱胁迫条件下的产量(表 3)。在非干旱胁迫条件下,先玉 335 产量显著高于其余 3 个品种,而在干旱胁迫条件下,先玉 335 的产量显著低于其余 3 个品种。对 4 个品种的抗旱系数和抗旱指数进行计算,先玉 335 的抗旱系数为 0. 37,抗旱指数为 0. 22,抗旱性评价为最

弱,并且与郑单 958、鼎优 919 和伟科 702 存在显著差异。郑单 958 抗旱系数与抗旱指数最高,分别为 0. 76 和 0. 92,但与鼎优 919 和伟科 702 之间无显著差异,抗旱性均处于中等水平(3 级)。综上所述,在干旱胁迫条件下,玉米杂交种抗旱能力与产量有密切关系。

表 3 干旱胁迫和非干旱胁迫下的产量及抗旱性评价比较

Table 3 Comparison of yield and drought resistance evaluation under drought stress and non-drought stress conditions						
品种名称 Variety name	产量 Yield//kg/hm ²		抗旱性 Drought resistance			
	非干旱胁迫 Non-drought stress	干旱胁迫 Drought stress	抗旱系数 DRC	抗旱指数 DRI	级别 Grade	评价 Evaluation
郑单 958 Zhengdan958	4 357. 7 c	3 557. 3 a	0. 76 a	0. 92 a	3	中等
先玉 335 Xianyu335	5 269. 3 a	1 712. 0 b	0. 37 b	0. 22 b	5	极弱
鼎优 919 Dingyou919	4 624. 5 b	3 357. 2 a	0. 72 a	0. 81 a	3	中等
伟科 702 Weike702	4 380. 0 bc	3 335. 0 a	0. 72 a	0. 80 a	3	中等

注:同列不同小写字母表示在 0. 05 水平差异显著
Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0. 05 level

2.4 不同玉米品种氮利用能力和耐低氮能力比较 在正常氮肥条件下,除郑单 958 与伟科 702 产量差异不显著外,其

他品种间均有显著差异,其中先玉 335 产量最高,为 9 918. 1 kg/hm²;而郑单 958 产量最低,为 7 733. 7 kg/hm²(表

4)。在低氮处理下,4 个品种的产量均有所降低,其中鼎优 919 产量最高,7 160. 0 kg/hm²,而郑单 958 产量最低,为 5 385. 6 kg/hm²。

基于产量计算的氮利用指数的结果表明,先玉 335 和鼎优 919 显著高于郑单 958 和伟科 702;耐低氮指数以鼎优 919 最高,为 0. 92,显著高于郑单 958,但与先玉 335 和伟科 702 差异不显著。就单个品种来评价,郑单 958 的氮利用能力和

耐低氮能力最差,均为 4 级,且评价为弱;先玉 335 和鼎优 919 的氮利用能力均为 2 级,评价为强,耐低氮能力均为 3 级,评价为中等;伟科 702 的氮利用能力和耐低氮能力均为 3 级,均评价为中等。

以上结果表明,玉米杂交种氮利用能力和耐低氮能力与产量有密切的关系。

表 4 不同氮素处理下的产量及氮利用能力和耐低氮能力评价比较

Table 4 Comparison of grain yield of maize hybrid varieties and evaluation for low nitrogen under different nitrogen treatments

品种名称 Variety name	产量 Yield kg/hm ²		氮利用指数 NUI	氮利用能力 Nitrogen utilization capacity		耐低氮指数 NRI	耐低氮能力 Low nitrogen tolerance	
	正常供氮 N1	低氮 N0		等级 Grade	评价 Evaluation		等级 Grade	评价 Evaluation
郑单 958 Zhengdan 958	7 733. 7 c	5 385. 6 b	0. 75 b	4	弱	0. 52 b	4	弱
先玉 335 Xianyu 335	9 918. 1 a	6 491. 2 ab	1. 18 a	2	强	0. 76 ab	3	中等
鼎优 919 Dingyou 919	9 193. 3 b	7 160. 0 a	1. 16 a	2	强	0. 92 a	3	中等
伟科 702 Weike 702	7 788. 6 c	6 678. 4 ab	0. 93 b	3	中等	0. 81 ab	3	中等

注:同列不同小写字母表示在 0. 05 水平差异显著
Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0. 05 level

3 结论与讨论

玉米产量的增加除了得益于杂种优势利用、栽培措施的改良以外,品种的抗逆性也是重要的一方面^[2,7,11]。Duvick^[11-12]把产量解释为抗逆性,认为品种必须有一定的抗逆性,首先是耐密植抗倒伏的能力,然后是耐旱、耐低氮、耐低温或高温的能力。我国专家也认为要重视玉米品种抗逆性的改良和提高^[13-14]。

自郑单 958 和先玉 335 审定推广以来,黄淮海区域逐步改变了 2000 年以前夏玉米种植豫单 22、农大 108、鲁单 981 等大穗、稀植品种的种植模式和习惯^[2]。适当增加密度提高了产量,但也带来了倒伏的风险^[15-16],这就对玉米品种的抗倒性提出了更高的要求,特别是要满足玉米全程机械化的操作。Martin 等^[17]相关研究表明,茎秆穿刺强度与田间倒伏率具有高度的相关性,且与倒伏存在显著的负相关性,可以作为玉米群体和耐密品种评价的抗倒性指标。该研究的结果也表明,成熟期鼎优 919 和郑单 958 的抗弯折强度和穿刺强度显著高于先玉 335,其倒伏率也显著低于先玉 335,表明茎秆抗弯折强度和穿刺强度测定可以作为评价玉米杂交种抗倒伏能力的主要手段。在黄淮海夏玉米生产上,引起玉米倒伏的因素除了大风以外,玉米茎腐病和南方锈病的严重发生也会导致玉米收获前的倒伏和倒折,如 2015 年黄淮南部玉米南方锈病提早且严重发生就引起了河南省驻马店、许昌、周口地区玉米的大面积倒伏。该研究调查的倒伏主要是因为 2018 年 8 月 16—19 日“温比亚”台风和后期茎腐病发生共同导致的,该台风造成当年河南省驻马店、周口、商丘等地区玉米的大面积倒伏。

夏季高温、干旱或二者叠加一直是近几年黄淮海夏玉米生产常见的灾害天气,如 2013 年 8 月 5 日前后河南省持续的高温干旱气候导致生产上玉米大量的无花粉、受粉差、畸形穗等现象,特别是一些美系品种表现更加突出。高温和干旱对玉米造成的负面影响是多方面的,不但影响叶片的光合作

用、雌穗的发育、花粉活性、授粉、结实、籽粒灌浆,也影响激素代谢、酶活性等许多生理活动^[18-20]。该研究结果表明,郑单 958 和鼎优 919 的花粉活性表现出较强的耐高温能力;同样以郑单 958 和先玉 335 为材料研究高温胁迫的多项研究也证实前者较强的抗高温特性和后者对高温的敏感特性^[21-24]。该研究在抗旱棚内全程干旱胁迫的研究结果表明,郑单 958、鼎优 919 和伟科 702 表现出中等的抗旱能力,其他关于郑单 958 等品种在不同时期、不同抗旱胁迫方法的研究结果也表明郑单 958 具有较强或中等的抗旱能力,而先玉 335 对干旱敏感^[22,25-27]。玉米对高温或干旱的抗(耐)特性是由多个基因调控的^[1],这应该与品种亲本种质对高温或干旱的抗性水平有关^[27]。

利用¹⁵N 同位素示踪的研究结果表明中国东北和华北中部地区平均只有 31%~35%的氮(平均 222 kg/hm² N)被地上植物吸收利用,其他的保留在土壤和流失到环境中去,而华北中部平均只有 28%的氮被吸收利用^[28]。因此,氮的利用效率偏低,这不仅造成资源的浪费,也会对环境造成污染。目前,减肥或有机替代是减氮的重要措施,而鉴定筛选氮高效利用品种也是提高氮利用效率的重要途径。多项研究表明,玉米杂交种间氮的利用效率和耐低氮能力存在差异^[29-32]。该研究在连续多年构建的低氮区和正常氮区的鉴定结果表明,郑单 958 的氮利用能力和耐低氮能力为弱;先玉 335 和鼎优 919 的氮利用能力为强、耐低氮能力为中等;伟科 702 的 2 个指标均为中等,这与张美微等^[30]的结果基本一致,但郑单 958 的试验结果与赵震等^[32]苗期氮利用能力和屈佳伟等^[31]土壤硝态氮的研究结果不一致,这可能与研究方法、土壤特性和气候环境的不同有关^[28]。

黄淮海区域随着极端气候频发,种植户对玉米品种的抗逆性要求也越来越高。该研究通过对 4 个玉米品种抗倒性及高温、干旱和低氮胁迫下抗逆性的比较分析,发现郑单 958 表现出较强的抗倒性、抗高温和干旱特性及较弱的氮利用能

力和耐低氮能力;先玉 335 表现出较弱的抗倒性、抗高温和干旱特性及较强的氮利用能力和耐低氮能力;鼎优 919 表现出较强的抗倒性、抗高温和干旱特性及较强的氮利用能力和耐低氮能力;伟科 702 表现出较弱的抗倒性、中等的抗高温干旱特性及中等的氮利用能力和耐低氮能力。因此,选用抗(耐)多种逆境的品种是应对环境变化最经济有效的方法之一。

参考文献

[1] MAMMADOV J,BUYARAPU R,GUTTIKONDA S K,et al. Wild relatives of maize, rice, cotton, and soybean: Treasure troves for tolerance to biotic and abiotic stresses[J]. *Frontiers in plant science*, 2018, 9: 886–907.

[2] 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.

[3] 王振营,王晓鸣. 我国玉米病虫害发生现状、趋势与防控对策[J]. *植物保护*, 2019, 45(1): 1–11.

[4] 刘万才,刘振东,黄冲,等. 近 10 年农作物主要病虫害发生危害情况的统计和分析[J]. *植物保护*, 2016, 42(5): 1–9.

[5] 胡昌浩,潘子龙. 夏玉米同化产物积累与养分吸收分配规律的研究 II. 氮、磷、钾的吸收、分配与转移规律[J]. *中国农业科学*, 1982(2): 38–48.

[6] 于晓芳,高聚林,叶君,等. 深松及氮肥深施对超高产春玉米根系生长、产量及氮肥利用效率的影响[J]. *玉米科学*, 2013, 21(1): 114–119.

[7] 杨扬,王风格,赵久然,等. 中国玉米品种审定现状分析[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(22): 4360–4370.

[8] 王艳哲,崔彦宏,张丽华,等. 玉米花粉活力测定方法的比较研究[J]. *玉米科学*, 2010, 18(3): 173–176.

[9] 唐保军,赵霞,刘天学,等. 玉米杂交种抗旱性鉴定评价技术规程: DB41/T 1368—2017[S]. 郑州:河南省农业科学院粮食作物研究所, 2017.

[10] 朱卫红,代书桃,王天宇,等. 玉米氮利用和耐低氮鉴定评价技术规程: DB41/T 1816—2019[S]. 郑州:河南省农业科学院粮食作物研究所, 2019.

[11] DUVICK D N. Genetic progress in yield of United States maize (*Zea mays* L.) [J]. *Maydica*, 2005, 50(3): 193–202.

[12] DUVICK D N. What is yield? [C]//EDMEADES G O, BANZIGER B, MICKELSON H R, et al. Developing drought and low N-tolerant maize. *Proceedings of symposium. El Batan, Mexico; CIMMYT*, 1996: 332–335.

[13] 张世煌,徐伟平,李明顺,等. 玉米育种面临的机遇和挑战[J]. *玉米科学*, 2008, 16(6): 1–5.

[14] 郭庆法,高新学,刘强,等. 黄淮海夏玉米区玉米育种现状及创新[J]. *玉米科学*, 2007, 15(6): 1–4.

[15] 侯海鹏,丁在松,马玮,等. 高产夏玉米产量性能特征及密度深松调控效应[J]. *作物学报*, 2013, 39(6): 1069–1077.

[16] 赵霞,穆心愿,卢道文,等. 不同夏玉米品种氮素积累利用的差异及其水氮调控效应[J]. *玉米科学*, 2018, 26(6): 68–74.

[17] MARTIN S A, DARRAH L L, HIBBARD B E. Divergent selection for rind penetrometer resistance and its effects on European corn borer damage and stalk traits in corn[J]. *Crop science*, 2004, 44(3): 711–717.

[18] 胡秀丽,李艳辉,杨海荣,等. HSP70 可提高干旱高温复合胁迫诱导的玉米叶片抗氧化防御能力[J]. *作物学报*, 2010, 36(4): 636–644.

[19] 任寒,刘鹏,董树亭,等. 高温胁迫影响玉米生长发育的生理机制研究进展[J]. *玉米科学*, 2019, 27(5): 109–115.

[20] PIRES M V, DE CASTRO E M, DE FREITAS B S M, et al. Yield-related phenotypic traits of drought resistant maize genotypes [J/OL]. *Environmental and experimental botany*, 2019–12–11 [2019–12–15]. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.103962>.

[21] 乔江方,李萍,张美微,等. 花期高温对不同夏玉米品种产量及品质的影响[J]. *河南农业科学*, 2019, 48(7): 11–18.

[22] 赵霞,穆心愿,马智艳,等. 不同玉米杂交种对花期高温、干旱复合胁迫的响应[J]. *河南农业科学*, 2017, 46(8): 32–37.

[23] 付景,孙宁宁,刘天学,等. 高温胁迫对玉米形态、叶片结构及其产量的影响[J]. *玉米科学*, 2019, 27(1): 46–53.

[24] 降志兵,陶洪斌,吴拓,等. 高温对玉米花粉活力的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2016, 21(3): 25–29.

[25] 赵霞,刘诗慧,张国方,等. 16 个玉米杂交种的抗旱性评价[J]. *河南农业科学*, 2017, 46(12): 24–28.

[26] 裴志超,张伟强,周继华,等. 干旱胁迫对不同基因型玉米产量及其构成因素的影响[J]. *玉米科学*, 2019, 27(4): 115–121.

[27] 贾双杰,李红伟,江艳平,等. 干旱胁迫对玉米叶片光合特性和穗发育特征的影响[J]. *生态学报*, 2020, 40(3): 1–9.

[28] ZHI Q, LI S L, ZHANG X, et al. Fertilizer nitrogen use efficiency and fates in maize cropping systems across China: Field ¹⁵N tracer studies [J]. *Soil & tillage research*, 2020, 197: 1–9.

[29] 张卫星,赵致,柏光晓,等. 不同玉米杂交种对水分和氮胁迫的响应及其抗逆性[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(7): 1361–1370.

[30] 张美微,刘京宝,乔江方,等. 不同夏玉米品种氮素积累利用的差异及其水氮调控效应[J]. *河南农业科学*, 2020, 49(1): 9–17.

[31] 屈佳伟,高聚林,于晓芳,等. 不同氮效率玉米品种对土壤硝态氮时空分布及农田氮素平衡的影响[J]. *作物学报*, 2018, 44(5): 737–749.

[32] 赵霞,杨豫龙,王浩然,等. 玉米苗期氮、磷、钾养分吸收利用效率研究[J]. *玉米科学*, 2019, 27(4): 154–161, 166.

(上接第 42 页)

表 3 不同处理对玉米产量及其构成因素的影响
Table 3 Effects of different treatments on the yield and its component factors of maize

处理编号 Treatment code	百粒重 100-gain weight/g	出籽率 Kernel percentage/%	小区产量 Plot yield kg	产量 Yield kg/hm ²
A1B1	33.8	86.2	4.44	7 048.0
A1B2	33.5	85.3	4.74	7 524.2
A1B3	33.6	88.9	5.09	8 079.8
A1B4	35.5	85.4	5.00	7 936.9
A1B5	34.3	86.3	4.76	7 555.9
A1B6	32.7	86.0	4.60	7 302.0
A2B1	36.8	84.3	4.24	6 730.5
A2B2	37.6	84.8	4.83	7 667.1
A2B3	38.5	85.9	4.96	7 873.4
A2B4	36.5	86.3	4.93	7 825.8
A2B5	33.6	84.5	4.68	7 428.9
A2B6	30.7	80.4	4.47	7 095.6
A3B1	34.6	85.0	4.41	7 000.4
A3B2	34.9	85.3	4.71	7 476.6
A3B3	35.6	85.7	4.82	7 651.2
A3B4	35.1	85.8	4.85	7 698.8
A3B5	35.0	84.6	4.79	7 603.6
A3B6	33.0	83.1	4.52	7 175.0

因此,过早或过晚播种都不利于春玉米产量的提高,桂北地区春玉米的适宜播种期为 3 月中旬至下旬,此时播种可充分利用温、光、水等气候资源,延长玉米生育期日数,促进玉米生长发育,有利于提高干物质的积累及在籽粒中的分配,提高玉米产量。

参考文献

[1] 邹原东,韩振芹. 播期对玉米产量及品质的影响研究进展[J]. *现代农业科技*, 2018(4): 7–8, 10.

[2] 靳英华,周道玮,秦丽杰. 适应气候变化的吉林省半干旱区玉米播种期[J]. *应用生态学报*, 2012, 23(10): 2795–2802.

[3] 马国胜,薛吉全,路海东,等. 播种时期与密度对关内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.

[4] 李向岭,赵明,李从锋,等. 播期和密度对玉米干物质积累动态的影响及其模型的建立[J]. *作物学报*, 2010, 36(12): 2143–2153.

[5] 郭欢乐,汤彬,李涵,等. 播期对湖南秋玉米生长的影响[J]. *湖南农业科学*, 2018(7): 23–28.

[6] 赵先丽,李丽光,王宏博,等. 1980—2010 年辽西地区春玉米发育期变化及其对产量的影响[J]. *气象与环境学报*, 2016, 32(1): 84–88.

[7] 黄开健,黄爱花,莫润秀,等. 基于气候变化特征的广西春玉米播期研究[J]. *南方农业学报*, 2018, 49(7): 1304–1310.

[8] 钟昌松,张玉,吕巨智,等. 不同播期对广西春玉米生长特性及产量的影响[J]. *西南农业学报*, 2016, 29(3): 511–515.

[9] 武文明,王世济,陈洪俭. 播期与密度对沿淮行蓄洪区玉米籽粒灌浆特性的影响[J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(5): 35–37.

[10] 卢亚妮,侯青光,韦维,等. 不同熟期玉米品种对桂西北春、秋季播期的响应[J]. *南方农业学报*, 2019, 50(2): 270–277.