

不同玉米品种产量和氮素利用效率研究

颜 为¹, 李晓靖¹, 赵瑞君², 张春艳³, 郭玉利⁴, 黄 萌¹, 李杰文¹,
刘 波¹, 丁 一¹, 丁照华¹, 齐世军¹, 薛艳芳¹, 崔振岭¹

(1. 山东省农业科学院玉米研究所/农业部黄淮海北部玉米生物学与遗传育种重点实验室, 济南 250100; 2. 山东省招远市农业技术推广中心, 山东 招远 265400; 3. 临沂市农业科学院, 山东 临沂 276012; 4. 招远市金岭镇农业综合服务中心, 山东 招远 265400)

摘 要: 大田试验供试品种为郑单958、登海605和鲁单510, 探究不同夏玉米品种的产量及氮素吸收和利用效率。结果表明, 鲁单510穗位较低, 株高与登海605相似且略高于郑单958。吐丝后45 d, 鲁单510和登海605的光合速率、蒸腾速率和气孔导度较郑单958显著高102.2%、86.9%和126.9%。济南和淄博, 鲁单510产量较郑单958分别高9.0%和17.0%, 较登海605高2.9%和20.4%。鲁单510的氮肥偏生产力较郑单958和登海605平均高3.8%和2.7%, 氮肥吸收效率分别高18.4%和15.7%。鲁单510穗位较低, 子粒灌浆后期具有较高的光合特性和氮肥利用效率及其向子粒的分配能力, 为该区域高产及氮高效玉米品种选择提供理论依据。

关键词: 夏玉米; 品种; 产量; 氮素利用效率; 光合特性

中图分类号: S513.062

文献标识码: A

Study on Yield and Nitrogen Use Efficiencies of Different Summer Maize Varieties

YAN Wei¹, LI Xiao-jing¹, ZHAO Rui-jun², ZHANG Chun-yan³, GUO Yu-li⁴, HUANG Meng¹, LI Jie-wen¹,
LIU Bo¹, DING Yi¹, DING Zhao-hua¹, QI Shi-jun¹, XUE Yan-fang¹, CUI Zhen-ling¹

(1. Maize Research Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Maize in Northern Huang-Huai-Hai River Plain, Ministry of Agriculture, Jinan 250100; 2. Zhaoyuan Agricultural Technology Extension Center, Zhaoyuan 265400; 3. Linyi Academy of Agricultural Sciences, Linyi 276012; 4. Zhaoyuan Jinling Town Agricultural Comprehensive Service Center, Zhaoyuan 265400, China)

Abstract: Three maize varieties including Zhengdan958(ZD958), Denghai605(DH605) and Ludan510(LD510) were planted at different sites, to investigate the yield and nitrogen(N) uptake and utilization of different varieties. The results showed that the height of LD510(lower ear height) was similar to DH605, and slightly higher than that of ZD958. At 45 days after silking, the photosynthetic rate, transpiration rate and stomatal conductance of LD510 and DH605 were 102.2%, 86.9% and 126.9% higher than those of ZD958, respectively. In Jinan and Zibo, the grain yield of LD510 was 9.0% and 17.0% higher than that of ZD958, and 2.9% and 20.4% higher than that of DH605, respectively. TNU of LD510 was slightly higher than that of DH605 at different locations with an exception of a significant increase in Zhaoyuan. On average, LD510 had 3.8% and 2.7% higher N partial productivity, 18.4% and 15.7% more N uptake efficiency than ZD958 and DH605, respectively. In conclusion, LD510 had lower ear height, higher N uptake capacity, distribution capacity to grains, higher N utilization efficiency and higher photosynthetic characteristics at the late grain filling stage. These results will provide a theoretical basis for the selection of maize varieties with both high grain yield and high N efficiency in this area.

Key words: Summer maize; Variety; Yield; Nitrogen use efficiency; Photosynthetic characteristic

录用日期: 2023-04-06

基金项目: “十四五”国家重点研发计划课题(2021YFD1901003)、山东省科技特派员项目(2022DXAL0125)、山东省自然科学基金(ZR2021QC115)、山东省农业科学院创新人才引进及创新工程项目(CXGC2023A22)、山东省泰山学者特聘专家项目(TS201712082)、山东省科技型中小企业创新能力提升工程项目(2021TSGC1224)

作者简介: 颜 为 (1991-), 女, 山东聊城人, 博士, 从事作物栽培生理与养分管理研究。E-mail: weiyddl@163.com

薛艳芳和齐世军为本文共同通信作者。E-mail: xyfang198692@163.com E-mail: Qisj_69@163.com

玉米是我国主要粮食作物之一,具有生长迅速、单株生产力高等特点,在保障我国粮食安全中起到重要作用^[1]。黄淮海地区是我国最大的夏玉米主产区,种植面积和产量均占全国的 1/3 以上。随着耕地面积的减少,提高单位面积的粮食生产能力将成为保障粮食安全的重要途径^[2]。品种的改良对提高作物生产潜力和作物单产具有重要作用,当前作物单产提升有 35%~40% 的比例来源于品种改良^[3]。

玉米产量的高低取决于合理的产量构成因素,并且受控于许多内外因素影响^[4]。对玉米的产量与主要农艺性状进行逐步回归分析,出籽率、百粒重、穗长和穗行数等是影响玉米产量的主要因素^[5]。干物质积累是作物产量形成的基础,干物质积累量取决于玉米群体对氮肥资源的吸收利用,当前缩减玉米产量差的限制因素是对氮肥的利用效率低^[6,7]。因此,选用肥料利用效率较高的玉米品种,对夏玉米高产高效生产具有重要意义^[8]。氮素对玉米产量形成和干物质的积累至关重要。研究表明,玉米产量和氮素吸收量呈正相关关系^[9~11]。周联东等^[12]研究表明,在低氮条件下,高产品种组合中,子粒产量与氮转运指数显著正相关,与氮利用效率有较高的相关性,与其他性状相关性极低,表明高产组合中子粒产量主要受氮转运指数和氮利用效率影响。改善玉

米品种氮吸收和利用是玉米育种家的一个重要目标,也是提高养分有效性的重要的生物学途径^[13]。

前人已通过对不同玉米品种的产量性状^[14,15]、农艺性状^[16]和氮素利用^[17]等方面进行研究分析,了解新品种产量形成的规律,对种植品种的选择和新品种的选育均具有重要意义。本研究在常规施氮条件下,对黄淮海地区主推夏玉米品种农艺性状、产量、干物质积累和氮素利用特性等进行研究分析,探讨不同夏玉米品种产量形成、干物质积累和氮素吸收利用的差异,为黄淮海地区夏玉米高产氮高效品种选育和高效栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

2021 年 6~10 月在山东省鲁中(济南市、淄博市)、鲁南(临沂市)和鲁东(烟台招远市)设置大田试验。试验地点分别为山东省农业科学院玉米研究所章丘龙山试验基地(117°32'E,36°43'N)、淄博市临淄区敬仲镇李家东村(118°18'E,36°57'N)、临沂市农业科学院试验基地(118°27'E,35°10'N)和山东省农业科学院招远市穗丰种植专业合作社试验基地(120°21'E,37°26'N),各试验地的土壤理化性状见表 1。

表 1 试验地 0~20 cm 土壤理化性状

Table 1 Soil physical and chemical properties of 0–20 cm at different experimental sites

| 地 点 | pH 值 | 有机碳(g/kg) | 全氮(g/kg) | 有效磷(mg/kg) | 速效钾(mg/kg) |
|----------|----------|----------------|----------------|------------------|---------------------|
| Location | pH value | Organic carbon | Total nitrogen | Olsen phosphorus | Available potassium |
| 济南 | 7.3 | 9.8 | 1.1 | 29.4 | 116.9 |
| 淄博 | 7.9 | 11.0 | 1.2 | 15.3 | 200.8 |
| 临沂 | 6.2 | 10.4 | 1.0 | 24.5 | 95.0 |
| 招远 | 6.3 | 9.8 | 1.0 | 40.2 | 186.5 |

1.2 试验设计

4 个试验点均为小麦玉米轮作体系双季秸秆还

田,采用单因素随机区组设计,共设置 3 个品种。供试玉米品种分别为郑单 958、登海 605 和鲁单 510。

表 2 不同试验点肥料用量及施肥方式

Table 2 Fertilizer dosage and application method at different experimental sites

| 地 点 Location | 肥料用量(kg/hm ²) Fertilizer rate | | | 肥料种类 Type of fertilizer | 基追比 Base-topdressing ratio |
|-----------------|--|-------------------------------|------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | | |
| | | | | | |
| 济南 | 180 | 60 | 90 | 尿素、过磷酸钙和硫酸钾 | 总施氮量 60%于大喇叭口期以尿素形态追施 |
| 淄博 | 234 | 99 | 72 | 26-11-8控释肥 900 kg/hm ² | 无追肥 |
| 临沂 | 234 | 99 | 99 | 26-11-11控释肥 900 kg/hm ² | 无追肥 |
| 招远 | 355.5 | 54.9 | 63 | 28-6-7控释肥 900 kg/hm ² | 总施氮量 30%于大喇叭口期以尿素形态追施 |

成熟期玉米有效收获株数济南、淄博、临沂和招远分别为 69 750 株/hm²、57 045 株/hm²、61 500 株/hm²和 75 000 株/hm²,各地均为等行距 60 cm 种植。不同试验点肥料用量及施用方式见表 2。田间管理和植保措施按当地常规进行。生育期内无明显病虫害和杂草发生。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 植株样品采集与测定

玉米成熟期,每个小区选取 3 株生长一致的玉米植株,分子粒和秸秆两部分,105℃杀青 30 min,75℃烘干至恒重并记录干物重、粉样,采用 C/N 分析仪测定样品氮含量。各小区中间随机选取 8.4 m²样方(从中随机挑出具有代表性 10 穗用于拷种),风干脱粒测定总重,折算成含水率为 15.5%的产量。

1.3.2 光合气体交换参数测定

玉米吐丝后 30 d 和 45 d 用便携式光合测定仪(LI-6800)测定净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、胞间 CO₂ 浓度(C_i)和气孔导度(G_s)。选择晴朗天气,上午 9:00 ~ 11:30 在各小区内随机选取 3 株玉米测定穗位叶中部,取其平均值。

1.3.3 相关计算公式:

子粒氮素积累量=子粒氮浓度×子粒干重;
秸秆氮素积累量=秸秆氮浓度×秸秆干重;
地上部氮素积累量=子粒氮素积累量+秸秆氮

素积累量;

氮素收获指数(NHI)=子粒氮素积累量/地上部氮素积累量×100%;

氮肥偏生产力(PFPN)=子粒产量/施氮量;

氮素吸收效率(NUE)=地上部氮素积累量/施氮量。

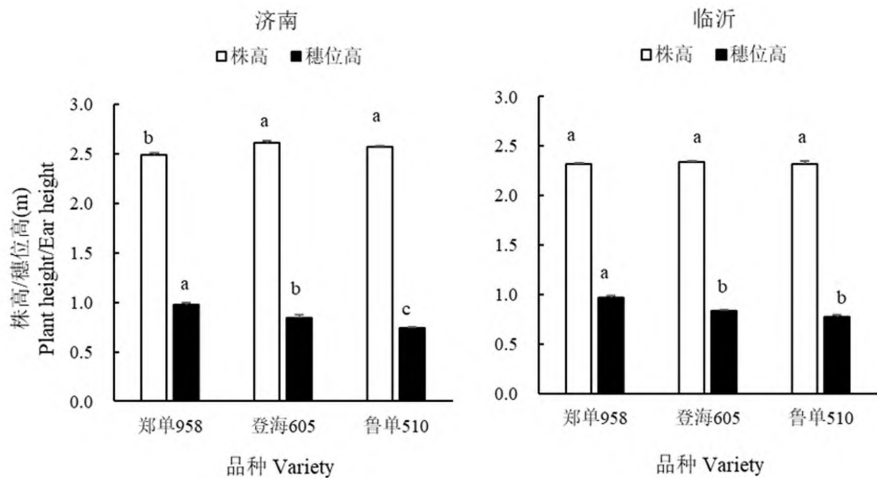
1.4 数据处理与分析

采用 Microsoft Excel 2016(Microsoft, 1975)对数据进行初步整理、计算并作图,采用 SPSS 23.0(IBM, 2012)一般线性模型(general linear model, GLM)进行方差分析(ANOVA),采用新复极差法(Duncan's)检验平均数($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同夏玉米品种株高和穗位高

济南试验点,不同夏玉米品种的平均株高为 2.5 m,其中,登海 605 和鲁单 510 的株高显著高于郑单 958,株高增加幅度为 4.2%;鲁单 510 的穗位高显著低于郑单 958 和登海 605,穗位高平均降低幅度为 23.7%。临沂试验点,不同夏玉米品种的平均株高为 2.3 m,3 个品种的株高无显著差异;鲁单 510 和登海 605 的穗位高显著低于郑单 958,降低幅度平均为 17.6%(图 1)。结果表明,鲁单 510 株高与登海 605 相似,穗位较低,有利于降低倒伏的发生。



注:不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下图同。
Note: Different lowercase letters indicated significant at the 0.05 probability level. The same below.

图 1 不同夏玉米品种株高和穗位高

Fig.1 Plant height and ear height of different summer maize varieties

2.2 不同夏玉米品种光合特性

由表 3 可知,吐丝后 30 d,各个品种间 P_n 和 T_r 无显著差异,鲁单 510 和登海 605 的 G_s 较郑单 958 分别显著增加 67.0% 和 143.8%,鲁单 510 的 C_i 显著高于

登海 605 和郑单 958;吐丝后 45 d,鲁单 510 和登海 605 的 P_n 、 T_r 和 G_s 显著高于郑单 958,分别平均较郑单 958 高 102.2%、86.9% 和 126.9%,各参数在鲁单 510 和登海 605 间无显著差异,各品种间 C_i 无显著差异。

表3 不同夏玉米品种的光合特性

Table 3 Photosynthetic characteristics of different summer maize varieties

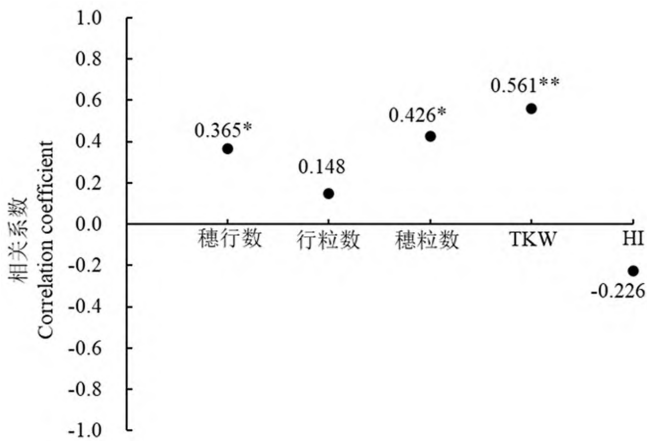
| 生育期 | 品 种 | 净光合速率 | 蒸腾速率 | 气孔导度 | 胞间 CO ₂ 浓度 |
|--------------|---------|---|---|---|--------------------------------|
| Growth stage | Variety | [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$] | [$\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$] | [$\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$] | ($\mu\text{mol}/\text{mol}$) |
| | | P_n | T_r | G_s | C_i |
| 吐丝后 30 d | 郑单 958 | 23.2 a | 5.5 a | 154.3 b | 103.5 b |
| | 登海 605 | 29.9 a | 7.8 a | 257.7 a | 140.9 b |
| | 鲁单 510 | 28.2 a | 8.8 a | 376.2 a | 218.7 a |
| 吐丝后 45 d | 郑单 958 | 9.2 b | 2.3 b | 64.3 b | 120.6 a |
| | 登海 605 | 18.7 a | 4.2 a | 140.2 a | 135.2 a |
| | 鲁单 510 | 18.5 a | 4.4 a | 151.7 a | 151.6 a |

2.3 不同夏玉米品种产量及其构成因素

表4 不同夏玉米品种产量和产量构成因素

Table 4 Yield and yield components of different summer maize varieties

| 地 点 | 品 种 | 产量(t/hm ²) | 穗行数 | 行粒数 | 穗粒数 | 千粒重(g) | 收获指数(%) |
|----------|---------|------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|---------------|
| Location | Variety | Yield | Row number per ear | Kernel number per row | Kernel number per ear | 1 000-grain weight | Harvest index |
| 济南 | 郑单 958 | 8.9 b | 15.1 b | 34.1 a | 515.7 a | 244.7 c | 53.3 a |
| | 登海 605 | 9.4 ab | 16.4 a | 29.8 b | 489.3 b | 252.3 b | 54.3 a |
| | 鲁单 510 | 9.7 a | 16.5 a | 28.8 c | 484.3 b | 272.8 a | 55.6 a |
| 淄博 | 郑单 958 | 8.8 b | 15.4 b | 35.0 a | 538.7 ab | 253.5 b | 56.2 a |
| | 登海 605 | 8.5 c | 16.5 a | 30.5 b | 503.7 b | 274.6 ab | 52.6 a |
| | 鲁单 510 | 10.3 a | 16.6 a | 34.3 a | 567.1 a | 289.0 a | 55.4 a |
| 临沂 | 郑单 958 | 6.9 a | 15.0 b | 34.6 a | 519.5 a | 269.4 b | 57.9 a |
| | 登海 605 | 7.7 a | 16.6 a | 29.5 b | 490.0 b | 275.2 a | 58.8 a |
| | 鲁单 510 | 7.8 a | 16.4 a | 27.9 b | 486.9 b | 284.8 a | 58.9 a |
| 招远 | 郑单 958 | 11.5 a | 15.7 b | 34.8 a | 546.7 a | 258.7 b | 52.0 a |
| | 登海 605 | 11.4 a | 17.2 a | 29.0 c | 498.2 b | 277.1 a | 53.3 a |
| | 鲁单 510 | 11.9 a | 16.9 a | 32.3 b | 544.9 a | 276.4 a | 49.2 a |



注: *表示在 0.05 水平上差异显著; **表示在 0.01 水平上差异显著。TKW 表示千粒重; HI 表示收获指数。下图同。

Note: * represent significant difference at the level of 0.05; ** represent difference at the level of 0.01. TKW, 1 000-grain weight; HI, harvest index.

The same below.

图2 不同夏玉米品种产量与产量构成因素的相关系数

Fig.2 Correlation coefficients between yield and yield components of different summer maize varieties

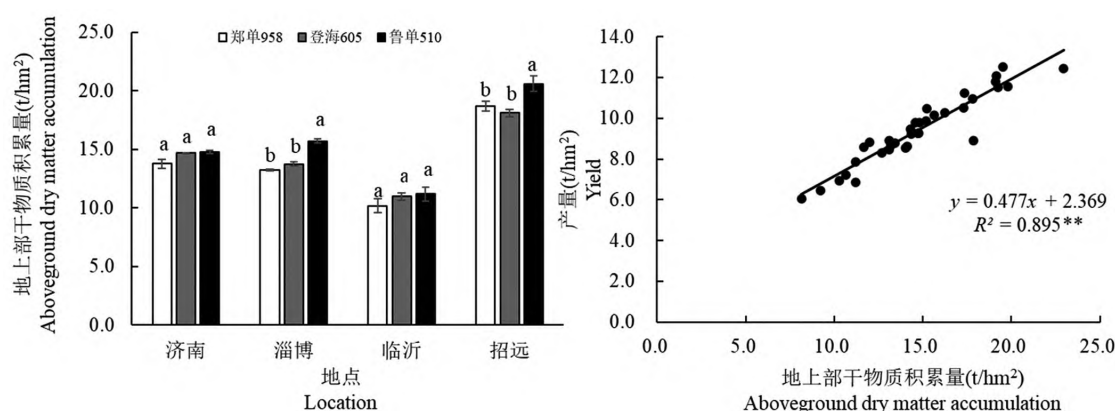
由表4可知,不同生态区,招远试验点各品种的产量最高(11.6 t/hm²),济南和淄博试验点各品种的产量居中,平均分别为9.4 t/hm²和9.2 t/hm²,临沂试验点各品种的产量最低(7.5 t/hm²)。同一试验点,鲁单510产量高于其他两个品种,其中,在济南和淄博试验点达到显著水平,在临沂和招远试验点品种间差异不显著。郑单958、登海605和鲁单510在不同生态区的产量平均分别为9.0 t/hm²、9.3 t/hm²和9.9 t/hm²。

各试验点鲁单510和登海605的穗行数显著高于郑单958,平均增幅为10.1%,登海605和鲁单510间无显著差异;郑单958的行粒数显著高于登海605和鲁单510(淄博试验点除外),较登海605和鲁单510增幅为17.2%和16.3%;郑单958的穗粒数在各试验点均显著高于登海605,济南和临沂试验点郑单958的穗粒数显著高于鲁单510,淄博和招远两个品种间的穗粒数无显著差异;鲁单510和登海605的千粒重较郑单958显著提高10.3%,鲁单510的千粒重在

各试验点略高于登海605,且在济南试验点达到显著水平。各试验点,不同品种的收获指数无显著差异。相关分析表明,产量与千粒重($r=0.561^{**}$)、穗粒数($r=0.426^{*}$)和穗行数($r=0.365^{*}$)均呈显著正相关(图2)。

2.4 不同夏玉米品种的干物质积累

由图3可知,招远试验点各个品种的地上部干物质积累量最大(19.1 t/hm²),临沂试验点地上部干物质积累量最低(10.8 t/hm²);淄博和招远,鲁单510地上部生物量较郑单958分别显著高出18.5%和10.2%,较登海605分别显著高出14.2%和13.8%。济南和临沂,鲁单510和登海605地上部生物量略高于郑单958,3个品种间的差异不显著。不同玉米品种在各个试验点地上部生物量累积与产量变化有相似的规律。相关分析表明,玉米产量与地上部生物量累积呈显著正相关($r=0.946^{**}$)。随着地上部干物质积累量的增加,产量呈增加趋势。



注:不同小写字母代表同一试验点不同品种在0.05水平差异显著。

Note: Different lowercase letters represent significant differences between different varieties at the same experiment site at the 0.05 level.

图3 不同夏玉米品种地上部干物质积累量及其与产量的相关性分析

Fig.3 Aboveground dry matter accumulation of different summer maize varieties and the relationship between dry matter accumulation and yield

2.5 不同夏玉米品种的氮素吸收和利用

由表5可知,济南、淄博和临沂试验点,各个品种间秸秆氮浓度无显著差异。济南和临沂试验点各个品种子粒氮浓度无显著差异,淄博试验点登海605显著高于郑单958和鲁单510;招远试验点,鲁单510的子粒和秸秆氮浓度均显著高于郑单958和登海605,平均增加幅度分别为49.5%和26.6%。

各试验点,登海605和鲁单510的子粒氮素积累量显著高于郑单958,增加幅度平均为19.6%;登海605和鲁单510之间子粒氮素积累量无显著差异。各品种间秸秆氮素积累量在临沂试验点无显著

差异;淄博和招远试验点,鲁单510秸秆氮素积累量显著高于郑单958。除济南试验点各品种间地上部氮素积累量无显著差异外,鲁单510的地上部氮素积累量在其他3个试验点均显著高于郑单958,略高于登海605且在招远试验点达到显著水平。

济南和临沂试验点,登海605和鲁单510的NHI显著高于郑单958,分别较郑单958平均高7.9和8.4个百分点,其他试验点各品种间的NHI无显著差异。鲁单510的PFPN显著高于郑单958(招远试验点除外),增幅为12.5%;济南试验点,登海605的PFPN显著高于郑单958,其他试验点登海605和

郑单 958 之间无显著差异。招远和淄博,鲁单 510 的 NUE 显著高于郑单 958,其他试验点各品种间 NUE 无显著差异。相关分析表明,玉米子粒产量与

地上部氮素积累量呈显著正相关($r=0.876^{**}$),随着地上部氮素积累量的增加,产量呈增加趋势(图 4)。

表 5 不同夏玉米品种的氮素吸收和利用效率
Table 5 Nitrogen uptake and utilization efficiency of different summer maize varieties

| 地 点 Location | 品 种 Variety | 子粒氮 | 秸秆氮 | 子粒氮素积 | 秸秆氮素积 | 地上部氮素 | 氮素收获 | 氮肥偏 | 氮素吸收 |
|-----------------|----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------|---------|---------|
| | | 浓度 | 浓度 | 累量(kg/hm ²) | 累量(kg/hm ²) | 积累量 | 指数 | 生产力 | 效率 |
| | | (%) | (%) | N | N | (kg/hm ²) | (%) | (kg/kg) | (kg/kg) |
| | | Grain N concentration | Straw N concentration | accumulation in grain | accumulation in straw | Total N accumulation | NHI | PFPN | NUE |
| 济 南 | 郑单 958 | 1.30 a | 0.99 a | 98.5 b | 76.3 a | 174.8 a | 57.4 b | 49.7 b | 0.97 a |
| | 登海 605 | 1.46 a | 0.87 a | 115.9 a | 58.5 b | 174.5 a | 66.5 a | 52.4 a | 0.97 a |
| | 鲁单 510 | 1.45 a | 0.83 a | 118.6 a | 54.8 b | 173.5 a | 68.4 a | 53.9 a | 0.96 a |
| 淄 博 | 郑单 958 | 1.30 b | 0.81 a | 97.1 b | 47.0 b | 144.1 b | 67.5 a | 37.7 b | 0.62 b |
| | 登海 605 | 1.55 a | 0.78 a | 111.7 a | 51.0 ab | 162.7 ab | 68.7 a | 36.5 b | 0.70 ab |
| | 鲁单 510 | 1.35 b | 0.87 a | 117.4 a | 61.6 a | 178.9 a | 65.8 a | 44.0 a | 0.76 a |
| 临 沂 | 郑单 958 | 1.34 a | 1.00 a | 78.5 b | 43.1 a | 121.6 b | 64.8 b | 29.6 b | 0.52 a |
| | 登海 605 | 1.41 a | 0.81 a | 91.3 a | 36.4 a | 127.7 a | 71.5 a | 32.7 ab | 0.55 a |
| | 鲁单 510 | 1.46 a | 0.89 a | 97.2 a | 42.4 a | 139.6 a | 70.6 a | 33.3 a | 0.60 a |
| 招 远 | 郑单 958 | 1.02 b | 1.10 b | 99.2 b | 99.2 b | 198.3 b | 50.1 a | 45.7 a | 0.56 b |
| | 登海 605 | 1.12 b | 0.89 c | 107.7 a | 75.6 c | 183.3 b | 58.8 a | 45.3 a | 0.52 b |
| | 鲁单 510 | 1.60 a | 1.26 a | 161.9 a | 133.0 a | 295.0 a | 55.1 a | 47.4 a | 0.83 a |

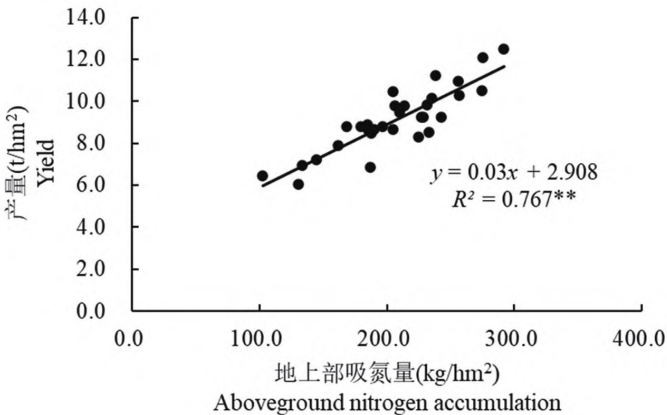


图 4 不同夏玉米品种地上部吸氮量与产量相关关系

Fig.4 Correlation between aboveground nitrogen uptake and yield of different summer maize varieties

3 结论与讨论

合理密植可发挥群体优势提高光热资源利用效率,是获得玉米高产的关键栽培措施^[17]。本研究中,招远试验点收获密度最大,产量最高;淄博试验点收获密度最低,产量与济南试验点相近,主要由于各品种穗粒数和千粒重的增加。临沂试验点,各品种收获密度略高于淄博试验点,由于穗粒数的大幅下降导致产量最低。玉米产量是单位面积穗数、穗粒数和粒重三者综合作用的最终体现,产量水平不仅受

密度影响,也受栽培措施和气候因素的影响。子粒产量与千粒重呈显著正相关,随着千粒重增加,玉米产量增加^[18]。本研究发现,子粒产量和千粒重($r=0.561^{**}$)、穗粒数($r=0.426^{*}$)呈显著正相关。因此,协调发展群体千粒重和穗粒数是玉米获得更高产量的基础^[19]。综合分析各试验点研究结果,郑单 958 产量最低,主要由于较低的千粒重;鲁单 510 产量较高,主要得益于较高的千粒重。鲁单 510 在不同环境条件下,均可保持较高产量,具有稳产性,可在本区域进行推广种植。

在一定范围内,干物质积累量与产量呈显著正相关,提高干物质的积累量是产量提高的根本途径^[20,21]。本研究发现,地上部干物质积累量和产量呈显著正相关($r=0.946^{**}$)。鲁单510地上部生物积累量最高,与产量结果趋势一致,较高的生物积累量为产量提高奠定基础。同样,鲁单510较高的生物积累量离不开叶片的光合作用。研究表明,干物质积累离不开叶片的光合作用和茎鞘苞叶等其他器官的储存与运输^[22,23],较高产量大部分来自玉米开花后光合产物的积累,茎秆积累的干物质从顶峰开始下降,同时雌穗干物质积累量迅速提高^[24,25]。

作物光合特性是影响产量的重要因素之一, P_n 是反映植物光合作用强弱的主要指标^[26]。本研究表明,吐丝后30 d,各品种间 P_n 无显著差异;吐丝后45 d鲁单510和登海605的 P_n 显著高于郑单958,表明鲁单510和登海605衰老速率要慢一些,形成和积累较多的同化物,为产量提高奠定基础。 G_s 是衡量植物与外界进行气体和 CO_2 交换能力的重要指标^[27]。一般而言, G_s 越大,叶片交换气体的能力越强,植物的蒸腾作用就越旺盛,同化产物的合成和运输能力就越强。吐丝后45 d,鲁单510和登海605的 T_r 和 G_s 显著高于郑单958,说明鲁单510和登海605叶片交换气体的能力强,植物的蒸腾作用旺盛,因此同化产物的合成和运输能力较强。

不同品种玉米在氮素吸收利用上存在差异,花后促进更多的氮素向子粒分配,促进子粒充实,增加产量^[28,29]。刘梅等^[30]研究表明,随着玉米新品种的育成,玉米植株氮素积累量呈逐渐增加趋势,近代玉米品种吸收的氮素向子粒转运和分配比例也显著增加,有助于产量提升。玉米地上部氮素积累量与产量呈显著正相关($r=0.876^{**}$)。鲁单510地上部氮素积累量尤其是子粒氮素积累量均显著高于郑单958,略高于登海605。鲁单510高产的主要原因是较高的氮素吸收能力(较高的地上部氮素积累量和NUE)及其向子粒的分配能力(较高的子粒氮素积累量)和较高的氮肥利用效率(PFPN是表征氮肥利用效率的重要指标)。鲁单510子粒氮浓度较高,有利于提高蛋白质含量,从而改善子粒的品质。杨梦雅等^[31]研究表明,高产品种灌浆期开始除子粒外的器官均转为源器官,同时植株还有较高的吸收氮素能力,促进植株氮素利用效率的提升。前期研究表明^[32],与鲁单981相比,登海605在子粒灌浆期具有较低的氮素再转运能力,花后具有较高的抗氧化能力,维持花后较高的氮代谢酶活性,保证花后较强的氮素吸收和同化能力,获得高产同时引起子粒氮浓度下降。

本研究中,新育成品种鲁单510在山东省不同生态区,产量较登海605高1.7%~20.4%,子粒氮浓度在济南和临沂试验点与登海605相近;在招远试验点,子粒氮浓度较登海605高43.6%。

成熟期各品种子粒产量和地上部生物量累积在不同生态区一致表现,为招远>济南>淄博>临沂。招远试验点,各品种产量和生物量均最高;淄博试验点产量与济南试验点相近,且均高于临沂试验点,子粒产量与千粒重($r=0.561^{**}$)和穗粒数($r=0.426^{*}$)呈显著正相关。同一试验点,鲁单510产量、生物量和氮素积累量高于其他两个品种。综合认为,鲁单510穗位较低,有利于降低倒伏的发生;在子粒灌浆期具有较高的光合特性、生物量积累,具有较高的氮素吸收能力及其向子粒的分配能力和较高的氮肥利用效率。

参考文献:

- [1] 王空军,张吉旺,郭玉秋,等.我国北方玉米品种个体产量潜力与氮利用效率研究[J].应用生态学报,2005(16):879-894.
WANG K J, ZHANG J W, GUO Y Q, et al. Study on yield potential and nitrogen use efficiency of maize cultivars in northern China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005(16): 879-894. (in Chinese)
- [2] 周宝元.黄淮海两熟制资源季节间优化配置及季节内高效利用技术体系研究[D].北京:中国农业大学博士学位论文,2015.
- [3] 戴景瑞,鄂立柱.我国玉米育种科技创新问题的几点思考[J].玉米科学,2010,18(1):1-5.
DAI J R, E L Z. Some thoughts on innovation of maize breeding technology in China[J]. Journal of Maize Sciences, 2010, 18(1): 1-5. (in Chinese)
- [4] 张吉旺.光温胁迫对玉米产量和品质及其生理特性的影响[D].泰安:山东农业大学博士学位论文,2005.
- [5] 任洪雷,李春霞,龚士琛,等.利用SPSS实现玉米杂交种主要农艺性状与产量的相关和通径分析[J].作物杂志,2019(3):86-90.
REN H L, LI C X, GONG S C, et al. Correlation and path analysis of main agronomic traits and yield of maize hybrid using SPSS[J]. Chinese Journal of Crops, 2019(3): 86-90. (in Chinese)
- [6] 刘 鹏,董树亭,李少昆,等.高产玉米氮素高效利用[J].中国农业科学,2017,50:2232-2237.
LIU P, DONG S T, LI S K, et al. High nitrogen utilization in high-yield maize[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50: 2232-2237. (in Chinese)
- [7] 郭 萍,王子豪,刘斌祥,等.不同覆盖方式下减氮对玉米生长与氮素吸收、转运和分配的影响[J].中国土壤与肥料,2021(1):229-239.
GUO P, WANG Z H, LIU B X, et al. Effects of nitrogen reduction on growth, nitrogen uptake, transfer and distribution of maize under different mulching methods[J]. Soil and Fertilizer in China, 2021(1): 229-239. (in Chinese)
- [8] 王洪章,刘 鹏,董树亭,等.夏玉米产量与光温生产效率差异分析——以山东省为例[J].中国农业科学,2019(52):1355-1367.

- WANG H Z, LIU P, DONG S T, et al. Difference analysis of summer maize yield and light-temperature production efficiency: A case study of Shandong province[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019 (52): 1355-1367. (in Chinese)
- [9] 何 萍, 金继运, 林 葆, 等. 不同氮磷钾用量下春玉米生物产量及其组分动态与养分吸收模式研究[J]. *植物营养与肥科学报*, 1998, 4(2): 123-130.
- HE P, JIN J Y, LIN B, et al. Biological yield, component dynamics and nutrient uptake patterns of spring maize under different NPK dosage[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1998, 4(2): 123-130. (in Chinese)
- [10] 张 颖. 不同产量类型春玉米养分吸收特点及其分配规律的研究[J]. *玉米科学*, 1997, 5(3): 70-72.
- ZHANG Y. Study on nutrient absorption characteristics and distribution rules of spring maize with different yield types[J]. *Journal of Maize Sciences*, 1997, 5(3): 70-72. (in Chinese)
- [11] 郭景伦, 张智猛, 李伯航, 等. 不同高产夏玉米品种养分吸收特性的研究[J]. *玉米科学*, 1997, 5(4): 50-52.
- GUO J L, ZHANG Z M, LI B H, et al. Study on nutrient absorption characteristics of different high-yield summer maize varieties[J]. *Journal of Maize Sciences*, 1997, 5(4): 50-52. (in Chinese)
- [12] 周联东, 海 燕, 李德孝. 玉米杂交种氮效率相关与通径分析[J]. *玉米科学*, 2005, 13(1): 83-85.
- ZHOU L D, HAI Y, LI D X. Correlation and path analysis of nitrogen efficiency in maize hybrids[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2005, 13(1): 83-85. (in Chinese)
- [13] 张福锁. 境胁迫与植物营养[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1996.
- [14] 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 characteristics of different maize varieties[J]. *Journal of North China Agronomy*, 2002, 17(1): 25-29. (in Chinese)
- [15] 郑洪建, 董树亭, 王空军, 等. 生态因素对玉米品种产量影响及调控的研究[J]. *作物学报*, 2001, 27: 862-868.
- ZHENG H J, DONG S T, WANG K J, et al. Effects and regulation of ecological factors on yield of maize varieties[J]. *Acta Agron Sin.*, 2001, 27: 862-868. (in Chinese)
- [16] 胡昌浩, 董树亭, 王空军, 等. 我国不同年代玉米品种生育特性演进规律研究 II 物质生产特性的演进[J]. *玉米科学*, 1998, 5(3): 50-54.
- HU C H, DONG S T, WANG K J, et al. Study on evolution of growth characteristics of maize varieties in different years II evolution of material production characteristics[J]. *Journal of Maize Sciences*, 1998, 5(3): 50-54. (in Chinese)
- [17] 郝茹雪, 王 健, 武宝悦, 等. 不同春玉米品种产量及其构成因素通径分析[J]. *黑龙江农业科学*, 2020(1): 9-11.
- HAO R X, WANG J, WU B Y, et al. Path analysis of yield and component factors of different spring maize varieties[J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2020(1): 9-11. (in Chinese)
- [18] 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. Yield structure characteristics and formation mechanism of high-yield maize varieties[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2010, 18(2): 65-69. (in Chinese)
- [19] 徐 磊, 谭福忠, 师 臣, 等. 黑龙江省西部干旱区玉米产量与产量构成因素的相关性分析[J]. *黑龙江农业科学*, 2020(7): 1-6.
- XU L, TAN F Z, SHI C, et al. Correlation analysis of maize yield and its component factors in arid area of Western Heilongjiang province[J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2020(7): 1-6. (in Chinese)
- [20] 李济生, 董淑琴. 玉米地上器官干物质积累运转及其分配的研究[J]. *北京农业科学*, 1985(2): 19-21.
- LI J S, DONG S Q. Study on dry matter accumulation and distribution in maize field organs[J]. *Beijing Agricultural Sciences*, 1985 (2): 19-21. (in Chinese)
- [21] 钱春荣, 王荣焕, 于 洋, 等. 不同熟期玉米品种在不同生态区的干物质积累、转运与分配特征[J]. *玉米科学*, 2021, 29(2): 60-68.
- QIAN C R, WANG R H, YU Y, et al. Dry Matter accumulation, transport and distribution characteristics of maize varieties at different maturity stages in different ecological regions[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2021, 29(2): 60-68. (in Chinese)
- [22] 阎翠萍, 张 虎, 王建军, 等. 沟谷地春玉米干物质积累、分配与转移规律的研究[J]. *玉米科学*, 2002, 10(1): 67-71.
- YAN C P, ZHANG H, WANG J J, et al. Study on dry matter accumulation, distribution and transfer of spring maize in Gully land[J]. *Journal of Maize Science*, 2002, 10(1): 67-71. (in Chinese)
- [23] 张银锁, 宇振荣, P M Driessen. 环境条件和栽培管理对夏玉米干物质积累、分配及转移的研究[J]. *作物学报*, 2002, 28(1): 104-109.
- ZHANG Y S, YU Z R, DRIESSEN P M. Study on accumulation, distribution and transfer of dry matter in summer maize under environmental conditions and cultivation management[J]. *Acta Agron Sin.*, 2002, 28(1): 104-109. (in Chinese)
- [24] 黄建军, 赵 明, 刘 娟, 等. 不同抗倒能力玉米品种物质生产与分配及产量性状研究[J]. *玉米科学*, 2009, 17(4): 82-88.
- HUANG J J, ZHAO M, LIU J, et al. Study on substance production, distribution and yield traits of maize varieties with different fall resistance[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2009, 17(4): 82-88. (in Chinese)
- [25] Gehl R J, Schmidt J P, Maddux L D, et al. Corn yield response to nitrogen rate and timing in sandy irrigated soils[J]. *Agron J.*, 2005, 97: 1230-1238.
- [26] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [27] 高冠龙, 张小由, 常宗强, 等. 植物气孔导度的环境响应模拟及其尺度扩展[J]. *生态学报*, 2016, 36(6): 1491-1500.
- GAO G L, ZHANG X Y, CHANG Z Q, et al. Environmental response modeling and scaling of stomatal conductance in plants[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(6): 1491-1500. (in Chinese)
- [28] 程 乙, 刘 鹏, 刘玉文, 等. 黄淮海区域现代夏玉米品种产量与养分吸收规律[J]. *作物学报*, 2019, 45: 1699-1714.
- CHENG Y, LIU P, LIU Y W, et al. Yield and nutrient uptake of modern summer maize varieties in Huang-Huai-Hai region[J]. *Acta Agron Sin.*, 2019, 45: 1699-1714. (in Chinese)

- [29] 杨豫龙,赵 霞,王帅丽,等. 黄淮海中南部玉米氮高效品种筛选及产量性状分析[J]. 玉米科学,2022,30(1):23-32 .
YANG Y L, ZHAO X, WANG S L, et al. Screening and yield characters analysis of maize varieties with high nitrogen efficiency in central and southern Huang-Huai-Hai area[J]. Journal of Maize Sciences, 2022, 30(1): 23-32. (in Chinese)
- [30] 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,2017,23:71-82 .
LIU M, WU G J, LU D L, et al. Relationship between nitrogen use efficiency and root characteristics of maize varieties at different ages[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2017, 23: 71-82. (in Chinese)
- [31] 杨梦雅,刘志鹏,陈 曦,等. 施氮水平对高产夏玉米氮磷钾积累和产量形成特性的影响[J]. 河北农业大学学报,2017,40(6):1-8 .
YANG M Y, LIU Z P, CHEN X, et al. Effects of nitrogen application level on NPK accumulation and yield formation characteristics of high-yield summer maize[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2017, 40(6) :1-8. (in Chinese)
- [32] 薛艳芳,韩小伟,张 慧,等. 不同氮效率玉米品种灌浆期氮素转运特性和产量对氮素形态的响应[J]. 玉米科学,2020,28(3):163-172 .
XUE Y F, HAN X W, ZHANG H, et al. Characteristics of nitrogen translocation during the grain-filling period and grain yield of different maize cultivars with varied nitrogen efficiencies in response to different nitrogen forms[J]. Journal of Maize Sciences, 2020, 28 (3): 163-172. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)