核农学报 2020,34(11):2569~2577
Journal of Nuclear Agricultural Sciences

文章编号:1000-8551(2020)11-2569-09

川中丘区玉米氮高效品种筛选及增产潜力分析

郭 松[1] 曾祥忠[1] 陈 琨[1] 卢庭启[2] 上官宇先[1]
周子军[1] 涂仕华[1] 秦鱼生[1,*]
([1]四川省农业科学院土壤肥料研究所,四川 成都 610066;[2]绵阳市农业科学研究院,四川 绵阳 621023)

摘 要:为探究高产氮高效玉米品种在减肥增效措施中的增产潜力,本研究通过对川中丘陵区近十年11个主推玉米品种在2个环境(简阳和中江)和3个氮水平[0(LN)、150(MN)和300 kg·hm^{-2}(HN)]下的田间产量及产量构成因子等进行方差和相关性分析,依据产量的基因型×氮互作效应对玉米品种进行氮效率分类,研究不同类型玉米的增产潜力以及与增产潜力有关的产量性状。结果表明,基因型、氮、环境及其互作显著影响玉米产量,基因型×氮互作显著影响穗粗和百粒重;11个试验玉米品种存在氮效率的基因型差异,包括双高效型、高氮高效型、耐低氮型和双低效型4种类型,其中双高效型和高氮高效型占总数的45.5%,其在HN和LN的增产潜力分别为6.74%~7.54%和9.88%~13.45%;高产氮高效品种(双高效型和高氮高效型)在2个试验点的节氮潜力差异较大,HN的节氮潜力可达19.18%以上;增产潜力与穗粗、百粒重等产量构成因子显著正相关;正红311、川单189和绵单1256在2个环境下均表现出高产氮高效品种特征。在川中丘陵区不同肥力的土壤上选择种植高产氮高效或耐低氮的玉米品种,通过合理施肥,可以达到增产/稳产和节氮增效的目的。本研究对川中丘陵区玉米高产氮高效品种的选育和推广应用具有重要理论意义。

关键词:玉米;氮肥;品种;高产氮高效;产量
DOI:10.11869/j.issn.100-8551.2020.11.2569

玉米是我国第一大粮食作物,西南地区又是我国玉米的主要产区之一,因此,维持该区的玉米高产对我国粮食安全举足轻重[1-2]。以氮肥施用为主的生产管理措施的改进和玉米品种遗传改良是增加玉米产量的决定性因素[3]。我国作为世界上最大的氮肥生产国和使用国,氮肥平均利用率只有30%~40%,远低于同期世界平均水平[4],四川地区的玉米氮肥农学效率仅为9.7 kg·kg^{-1}[1-2]。选育和推广高产氮高效的作物品种是提高我国氮肥利用率,维护粮食安全和生态可持续发展的一项重要措施[5]。针对西南地区特定生态条件下玉米高产氮高效的研究是该区域乃至全国实现化肥零增长的重要技术保障。

Chen等[3]通过对我国东北、华北地区40个商业品种的研究,将玉米品种分为四种不同类型:高氮和低氮均高产的双高效型(efficient-efficient,EE)、高氮高产的高氮高效型(HN-efficient,HNE)、低氮高产的耐低氮型(LN-efficient,LNE)、高氮和低氮均低产的双低效型(nonefficient-nonefficient,NN),认为培育高产氮高效(双高效型和高氮高效型)的玉米新品种是可行的途径。对黄淮海区域夏玉米的研究发现,高产氮高效型具有较高的籽粒氮素和干物质分配比例[6],此类型玉米品种在低氮或高氮条件下,其花后氮素积累能力均强于低效型玉米品种[7]。有研究发现粒重和植株氮含量可作为双高效型和高氮高效型选育的参考指标[8],而穗长、穗粗、行粒数等指标可用于耐低氮型玉米品种的筛选[9]。

我国玉米氮效率研究工作已经开展了较长一段时间。在东北和华北大面积推广的高产氮高效品种先玉

收稿日期:2019-04-25 **接受日期**:2019-07-19
基金项目:国家重点研发计划(2018YFD0200700),四川省科技计划(2016JY0012),四川省财政创新能力提升工程(2016QNJJ-014),四川省农业科学院前沿学科研究基金(2019QYXK022)
作者简介:郭松,男,助理研究员,主要从事植物营养方面研究。E-mail:saasgs@sina.com
* **通讯作者**:秦鱼生,男,研究员,主要从事为农业资源与环境方面研究。E-mail:shengyuq@126.com

335 和郑单 958,在高产栽培条件下可以增产 8%~10%,节氮 16%~21%[3]。由于川中丘陵区高温、高湿和寡照的气候条件,北方高产氮高效品种不适宜在此地区推广[10-11]。因此,筛选适合西南地区高产氮高效的玉米品种,对其在不同氮水平下产量和增产潜力的研究有助于维护西南地区的粮食安全和生态环境,提高对西南地区高产氮高效玉米品种的推广使用。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验地概况

田间试验于 2016 年 4 月至 8 月,在四川省简阳市芦葭镇英明村(30°16.921′N,104°30.187′E)和中江县仓山镇响滩村(30°36.784′N,105°1.322′E)两地同时进行。供试土壤类型为紫色土,玉米生长季的土壤基础理化性质、播种收获时间和气候条件如表 1 所示。供试玉米品种共 11 个,为四川省近十年主推品种,具体信息如表 2 所示。

1.2 试验设计

试验采用裂区区组设计,以施氮量作为主处理,品种作为副处理。共设 3 个氮肥用量处理,分别为 0 kg·hm^{-2}(LN)、150 kg·hm^{-2}(MN)、300 kg·hm^{-2}(HN)。每个处理 3 次重复,小区长 5 m,宽 4 m,面积 20 m^2。种植密度为 50 000 株·hm^{-2}。氮肥为普通尿素(N,46.3%);磷肥为过磷酸钙(P_2O_5,12%),P_2O_5 施用量为 90 kg·hm^{-2};钾肥为氯化钾(K_2O,60%),K_2O 施用量为 150 kg·hm^{-2}。磷肥在播前作为基肥一次施用,氮肥和钾肥在播前和拔节期分两次施用(基∶追=1∶1),除试验设计的肥料外,不施用其他任何肥料,其他田间管理措施与当地高产栽培一致。

表 1 试验前的土壤基础理化性质和气候条件

Table 1 Soil physical and chemical properties and agricultural climatic conditions at two locations

地点 Site	土壤理化性质 Soil physical and chemical properties						日期 Date		生长季气候条件 Climatic conditions		
	有机质 Organic matter /(g·kg^{-1})	总氮 Total N /(g·kg^{-1})	有效磷 Olsen-P /(mg·kg^{-1})	速效钾 Available K /(mg·kg^{-1})	pH 值 pH value	碱解氮 Available N /(mg·kg^{-1})	播种 Sowing y/m/d	收获 Harvest y/m/d	降雨量 Precipitation /mm	平均气温 Average temperature /℃	光照 Sunshine /h
简阳 Jianyang	14.7	1.14	13.0	147	8.1	97	2016/4/5	2016/8/5	577.9	24.5	709.8
中江 Zhongjiang	10.0	0.79	6.3	85	8.2	58	2016/4/11	2016/8/13	477.7	24.8	621.8

表 2 供试玉米品种编号及来源

Table 2 Code of tested maize varieties and their origins

编号 Code	品种 Varieties	亲本 Parental combination	审定年份 Validation year	选育单位 Breeding organization
1	雅玉 30	YA0468-1×YA122	川审 2012	四川雅玉科技开发有限公司
2	荃玉 9 号	Y3052×18-599	国审 2011	四川省农业科学院作物研究所
3	仲玉 998	998×H08	国审 2014	仲衍种业股份有限公司
4	成单 30	2142×205-22	川审 2004	四川省农业科学院作物研究所
5	正红 311	K236×21-ES	川审 2006	四川农业大学玉米研究所
6	正红 505	K305×K389	川审 2008	四川农大正红种业有限责任公司
7	川单 455	08-641×HL5049	川审 2013	四川农业大学玉米研究所
8	仲玉 3 号	成自 273×南 8148	川审 2013	四川省农业科学院作物研究所
9	荣玉 1210	SCML202×LH8012	国审 2015	四川农业大学玉米研究所
10	川单 189	SCML203×SCML1950	国审 2011	四川农业大学玉米研究所
11	绵单 1256	绵 723×S52	国审 2015	绵阳市农业科学研究院

1.3 测定项目与方法

于成熟期取小区的一半面积进行测产,之后每个小区选取 10 个长势一致的玉米穗进行考种分析,测定穗长、秃尖长、穗粗、穗行数、行粒数和百粒重。

根据 Chen 等[3]的方法计算相关参数：

增产潜力=(某品种产量-供试品种平均产量)/供试品种平均产量×100%　　(1)

节氮量=施氮量-(供试所有品种平均产量-某品种的空白产量)/[(某品种的产量-某品种的空白产量)/施氮量]　　(2)

节氮潜力=节氮量/施氮量×100%　　(3)。

1.4　数据处理

采用 Excel 2007 进行数据处理，采用 SAS 8.1 软件进行三因素试验方差分析，采用 IBM SPSS 23 软件进行相关性分析，采用 SigmaPlot 10.0 和 Adobe Illustrator CS11 软件作图。

2　结果与分析

2.1　施氮对玉米产量的影响

由表 3 可知，地点、基因型、氮处理以及三者之间的互作显著影响玉米产量。穗长受地点、氮处理以及地点×氮处理和地点×基因型的互作影响显著。穗粗受地点、基因型、氮处理以及三者之间的互作影响显著。穗行数受地点、基因型和二者之间互作的影响显著。行粒数受地点、氮处理、基因型以及地点×氮处理和地点×基因型互作的显著影响。百粒重受氮处理、基因型及二者之间互作和二者分别与地点互作的影响显著。

由图 1 可知，增施氮肥可以显著提高玉米产量，但过量施氮(HN)不能进一步增加产量，甚至还会导致产量降低(图 1-A)。在简阳试验点，LN、MN 和 HN 所有试验玉米品种的平均产量分别为 6 935、7 822 和 7 395 kg·hm^{-2}，其中 MN 和 HN 较 LN 分别增产 12.78%和 6.63%。在中江试验点，LN、MN 和 HN 玉米平均产量分别为 4 638、6 480 和 6 609 kg·hm^{-2}，MN 和 HN 较 LN 分别增产 39.71%和 42.48%。

在同一处理下，11 个玉米品种之间的产量差异较大。在简阳试验点 LN、MN 和 HN 各处理中，产量范围分别为 6 101～7 815、7 009～8 511 和 6 572～8 040 kg·hm^{-2}，产量最高品种较产量最低品种分别高 28.09%、21.43%和 22.33%。在中江试验点 LN、MN 和 HN 各处理中，产量范围分别为 3 921～5 610、5 964～6 983 和5 878～7 448 kg·hm^{-2}，产量最高品种较产量最低品种分别高 43.07%、17.08%和 26.71%。以上结果表明玉米品种对氮肥的响应有差异。2 个试验点的产量差异，可能与试验点间的土壤和气候条件差异较大有关(表 1)。

表 3　产量与产量性状方差分析

Table 3　Analysis of variance in yield and yield characteristics

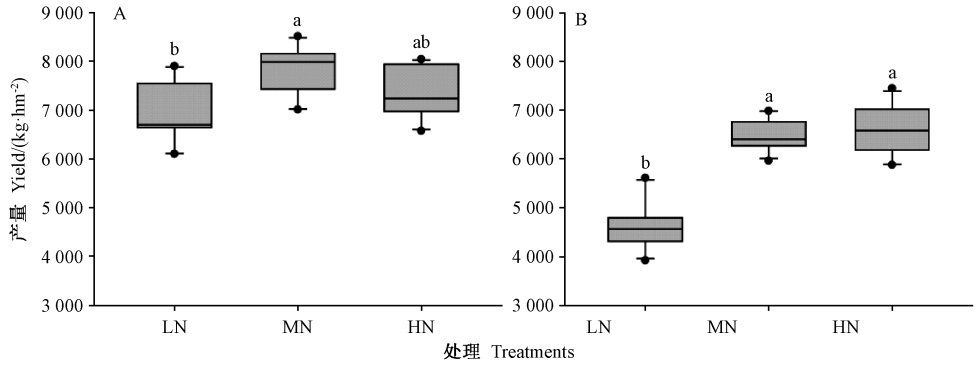
性状 Traits	产量 Y	穗长 EL	秃尖长 BHL	穗粗 ED	穗行数 RPE	行粒数 KPR	百粒重 HKW
区组 Block	227 611.5	2.71	0.04	0.04	0.91	16.26	0.18
地点 Location (L)	107 660 379.5***	936.01***	75.79***	860.77***	40.46***	3 445.83***	0.99
氮处理 Nitrogen (N)	36 958 275.9***	28.37***	0.75	11.79*	1.86	162.91***	80.50***
基因型 Genotype (G)	2 428 574.3***	1.76	4.52***	76.68***	28.70***	44.47***	98.60***
地点×氮处理 L×N	9 635 886.5***	29.64***	0.03	9.15*	0.93	154.96***	20.60**
地点×基因型 L×G	1 175 632.9***	7.68***	1.19***	11.96***	3.58*	33.69***	20.70***
氮处理×基因型 N×G	268 247.6*	2.01	0.43	5.88**	1.76	12.80	9.55**
地点×氮处理×基因型 L×N×G	272 234.7*	2.46	0.47	4.82*	0.89	12.97	4.79

注：*、**、*** 分别表示在 0.05、0.01、0.001 水平差异显著。Y：产量；EL：穗长；BHL：秃尖长；ED：穗粗；RPE：穗行数；KPR：行粒数；HKW：百粒重。

Note: *, ** and *** indicate significant difference at 0.05, 0.01 and 0.001 level, respectively. Y: Yield. EL: Ear length. BHL: Bald head length. ED: Ear diameter. RPE: Rows per ear. KPR: Kernels per row. HKW: Hundred-kernel weight.

2.2　高产氮高效玉米品种的筛选

根据 Chen 等[3]的方法，以不同氮水平下的平均产量为对照，将川中丘陵区的玉米品种划分为双高效型、高氮高效型、耐低氮型和双低效型四种类型。由图



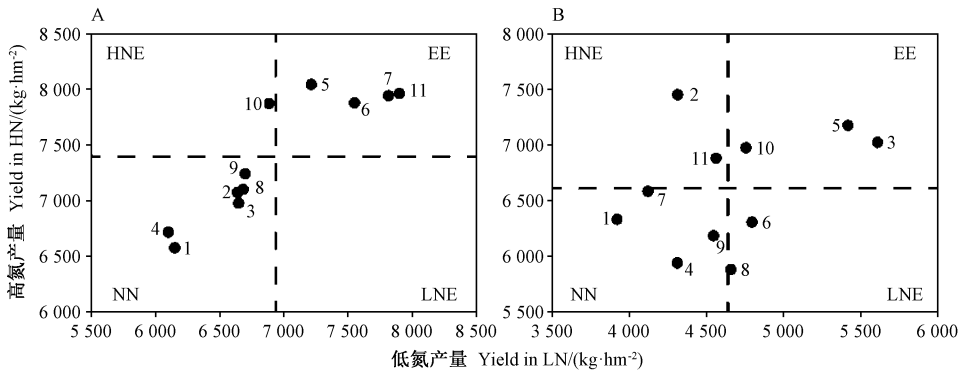
注:不同小字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。A:简阳;B:中江。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference among treatmengs at 0.05 level. A: Jianyang. B: Zhongjiang.

图 1 不同氮肥水平下玉米产量的变化

Fig.1 Maize yield of different N treatments

2 可知,在简阳试验点,双高效型(EE)品种有 4 个,占总数量的 36.4%,分别为正红 311、正红 505、川单 455 和绵单 1256;高氮高效型(HNE)只有川单 189,占 9.1%;双低效型(NN)有 6 个,占 54.5%,分别为雅玉 30、荃玉 9 号、仲玉 998、成单 30、仲玉 3 号和荣玉 1210。在中江试验点,仲玉 998、正红 311 和川单 189 为双高效型(EE),占总品种数量的 27.3%;荃玉 9 号和绵单1256为高氮高效型(HNE),占18.2%;正红 505 和仲玉 3 号为耐低氮型(LNE),占 18.2%;雅玉 30、成单 30、川单 455 和荣玉 1210 为双低效型(NN),占 36.4%。本研究中,不同玉米品种的产量受气候、氮水平和基因型等多重因素的影响(表 3),同一品种在 2 个地点的表现也存在一定的差异。在 11 个参试品种中,正红 311 在 2 个试验点均为双高效型,而成单 30 和荣玉 1210 号均为双低效型。



注:A:简阳;B:中江。图中数字编号与表 2 相同。

Note: A: Jianyang. B: Zhongjiang. The number are the same as table 2.

图 2 高产氮高效品种筛选

Fig.2 Screening of high yield and efficient varieties

2.3 高产氮高效品种的增产潜力和节氮潜力

由表 4 可知,不同类型玉米品种对氮肥的响应不同。双高效型在低氮和高氮条件下均有较高的产量,其在低氮和高氮下的增产潜力分别为 9.88%~13.45%和 6.74%~7.54%。高氮高效型在高氮条件下的产量与双高效型相当,但在低氮条件下的产量显著低于双高效型,其在高氮下的增产潜力为 6.42%~8.38%。耐低氮型在低氮条件下有较高的产量,高于整体平均水平,增产潜力为 1.94%左右,是耐低氮品种。双低效型在高氮和低氮条件下的产量均低于平均水平,其增产潜力为负值。在适量氮肥条件下(MN),简阳试验点的双高效型产量和高氮高效型显著高于双低效型,而中江试验点的 4 种类型之间无显著差异。

由于土壤肥力的不同,在等量施肥条件下,同一类型在 2 个试验点的节氮潜力不同。在高肥力的简阳试验点,双高效型在 HN 的节氮潜力可达 78.15%,在 MN

的节氮潜力为 59.57%;高氮高效型在 HN 和 MN 的节氮潜力分别是 48.17%和 16.13%。在肥力较低的中江试验点,双高效型在 HN 的节氮潜力为 25.88%,在 MN 的节氮潜力为-2.57%;高氮高效型在 HN 和 MN 的节氮潜力分别为 19.18%和 11.30%;耐低氮型和双低效型在 2 个试验点的节氮潜力均为负值。

表 4　不同类型玉米品种的产量分析及氮肥利用特征

Table 4　Yield and nitrogen use of efficicency responsiveness of different type vairieties

处理 Treatments	地点 Site	平均产量 Average yield/(kg·hm^{-2})				增产潜力 Percentage yield increase/%				节氮潜力 Potential N fertilizer input reduction/%			
		双高效型	高氮高效型	耐低氮型	双低效型	双高效型	高氮高效型	耐低氮型	双低效型	双高效型	高氮高效型	耐低氮型	双低效型
LN	简阳	7 620a	6 884b	—	6 487b	9.88	-0.74	—	-6.46	—	—	—	—
	中江	5 262a	4 439bc	4 728b	4 225c	13.45	-4.30	1.94	-8.90	—	—	—	—
MN	简阳	8 296a	8 002a	—	7 475b	6.07	2.31	—	-4.43	59.57	16.13	—	-39.68
	中江	6 457a	6 769a	6 401a	6 393a	-0.35	4.46	-1.22	-1.35	-2.57	11.30	-4.81	-6.27
HN	简阳	7 953a	7 870a	—	6 944b	7.54	6.42	—	-6.10	78.15	48.17	—	-83.50
	中江	7 054a	7 162a	6 090b	6 257b	6.74	8.38	-7.84	-5.32	25.88	19.18	-40.14	-20.06

注:不同小写字母表示不同类型玉米品种间显著差异($P<0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level among different types of maize. The same as following.

2.4　影响玉米产量和增产潜力的因素分析

由产量与穗部性状的相关性分析可知,产量与穗长、穗粗、行粒数、百粒重、增产潜力和节氮潜力呈显著正相关,2 个试验点的结果一致(表 5)。在简阳试验点,增产潜力与产量、穗粗呈显著正相关;在中江试验点,增产潜力与产量、穗粗和百粒重呈显著正相关。在简阳试验点,节氮潜力与产量、百粒重呈显著正相关;在中江试验点,节氮潜力与产量、百粒重、穗粗呈显著正相关。结果表明玉米基因型的高产氮高效潜力受穗粗和百粒重等性状的影响。

由表 6 可知,不同类型玉米品种的产量性状有所不同。与其他类型相比,双高效型的穗长、穗粗、穗行数和百粒重均较高。其中在 2 个试验点和 3 个氮水平下,双高效型的穗粗显著高于双低效型。双高效型在 LN、MN 和 HN 的百粒重较双低效型分别提高 6.56%、8.50%、3.10%(简阳)和 3.14%、1.63%、5.12%(中江)。高氮高效型在 HN 的穗粗较双低效型提高 0.54%(简阳)和 8.10%(中江);百粒重较双低效型提高 2.72%(简阳)和 1.33%(中江)。耐低氮型在 LN 的穗粗较双低效型提高 3.65%(中江)。

表 5　产量与穗部性状的相关性分析

Table 5　Correlation analysis between maize yield and ear characteristics

项目 Item	产量 Y	穗长 EL	秃尖长 BHL	穗粗 ED	穗行数 RPE	行粒数 KPR	百粒重 HKW	增产潜力 PYI	节氮潜力 PNIR
产量 Y	—	0.56**	0.01	0.39*	0.17	0.58**	0.50**	0.99**	0.94**
穗长 EL	0.41*	—	-0.39*	-0.14	-0.02	0.82**	0.19	0.11	0.13
秃尖长 BHL	0.11	-0.17	—	0.29	0.47**	-0.25	-0.19	-0.14	-0.07
穗粗 ED	0.53**	0.21	-0.09	—	0.44*	-0.05	0.38*	0.60**	0.63*
穗行数 RPE	0.18	-0.22	0.31	0.24	—	-0.08	-0.23	0.10	0.19
行粒数 KPR	0.40*	0.45*	0.17	-0.01	-0.16	—	0.04	-0.11	-0.15
百粒重 HKW	0.40*	0.15	-0.25	0.34	-0.40*	0.05	—	0.50*	0.52*
增产潜力 PYI	0.92**	0.33	0.19	0.57**	0.36	0.30	0.36	—	0.96**
节氮潜力 PNIR	0.87**	0.34	-0.02	0.45	0.36	0.34	0.52*	0.89**	—

注:左下为简阳试验点,右上为中江试验点。* 和 ** 分别表示相关性在 0.05 和 0.01 水平达到显著和极显著。

Note: Data of Jianyang are located at the left below diagonal, and those of Zhongjiang at the right above diagonal. * and ** indicate the correlation was significant and extremely significant at 0.05 and 0.01 level, respectively.

表 6 不同类型玉米品种的产量性状分析

Table 6 Yield characteristics analysis of different maize varieties

性状 Characteristics	类型 Type	简阳 Jianyang			中江 Zhongjiang		
		LN	MN	HN	LN	MN	HN
穗长 EL/cm	双高效型	18.92a	18.96a	19.14a	12.22a	14.38ab	15.50a
	高氮高效型	18.17a	19.00a	17.67b	12.75a	13.63b	14.25a
	耐低氮型	—	—	—	12.10a	15.25a	14.00a
	双低效型	18.19a	18.47a	17.75b	12.86a	15.50a	14.95a
秃尖长 BHL/cm	双高效型	1.19a	1.08b	0.83a	2.67a	2.83a	2.50a
	高氮高效型	1.33a	2.00a	1.08a	1.96a	2.75a	1.88a
	耐低氮型	—	—	—	2.25a	1.58b	2.33a
	双低效型	0.99a	0.89b	0.83a	2.25a	1.94ab	1.92a
穗粗 ED/cm	双高效型	53.34a	53.38a	53.12a	47.82ab	49.54a	49.67a
	高氮高效型	51.51ab	51.62ab	50.40b	49.28a	51.51a	48.58ab
	耐低氮型	—	—	—	46.16bc	46.23b	47.01ab
	双低效型	50.56b	50.65b	50.13b	44.53c	46.08b	44.94b
穗行数 RPE/行	双高效型	17.08a	18.25a	17.58a	15.78a	16.00ab	16.15a
	高氮高效型	16.67a	16.67b	16.00a	16.42a	17.42a	16.50a
	耐低氮型	—	—	—	16.92a	15.80ab	16.08a
	双低效型	17.11a	16.38b	16.39a	15.42a	15.50b	16.00a
行粒数 KPR/粒	双高效型	39.08a	39.17a	38.92a	26.00a	32.88a	33.28a
	高氮高效型	40.33a	42.00a	37.67a	28.50a	28.92a	31.17a
	耐低氮型	—	—	—	27.75a	35.88b	34.25a
	双低效型	39.14a	39.33a	38.44a	27.79a	32.73a	31.92a
百粒重 HKW/g	双高效型	31.34a	33.23a	31.66a	29.99a	31.75a	33.43a
	高氮高效型	31.22a	33.31a	31.54a	29.38a	32.68a	32.22a
	耐低氮型	—	—	—	25.92b	27.27b	27.61b
	双低效型	29.41a	30.63a	30.71a	29.07a	31.24a	31.80a

3 讨论

玉米氮高效与遗传改良密不可分,有研究表明,育种过程中抗逆性的增强使新品种更容易在低氮或者高氮条件下均获得高产[12]。而氮肥的投入与作物增产具有显著的相关性,说明育种家在育种过程中重点选择了对氮响应强的种质材料[13]。但现代品种之间也存在氮效率的差异[14]。由于对玉米氮效率的研究方法不同,导致对玉米基因型的分类结果不同[15]。如不同类型氮效率品种可以通过在低氮条件下产量的基因型与氮的互作效应进行筛选[3]。由此发现,川中丘陵区近十年主推的玉米杂交种存在氮效率的基因型差异,且同一个品种在不同地点表现不一致,说明氮效率受环境条件影响较大(图 2)。这与前人研究结果一致,同时一个品种是否属于养分高效品种,也与所选择的对照品种有直接关系[3,15]。

氮高效品种在不同供氮水平下均有较高的产量[16]。本研究中,高产氮高效玉米在 HN(双高效型和高氮高效型)和 LN(双高效型)的增产潜力分别是 6.42%~8.38%和 9.88%~13.45%。东北、华北地区高产氮高效型玉米在高氮条件下可增产 8%~10%,节氮潜力为 16%~21%,低氮条件下可增产 12%[3]。由于川中丘陵区高温、高湿和寡照的气候条件以及低密度种植方式(约 50 000 株·hm^{-2}),较东北、华北地区种植密度在 60 000 株·hm^{-2}以上的种植方式,其高产栽培条件下的增产幅度比北方地区低。然而低氮条件下,本研究的氮高效品种增产潜力与北方地区基本相同,说明其耐低氮性能较好,更适应低氮环境。

川中丘陵区地形复杂,土壤肥力差异较大,氮肥是

影响该区域玉米增产的首要因素,目前四川地区的施氮量在 179.5 ~ 286.5 kg·hm^{-2}之间[2]。依据 Chen 等[3]对玉米基因型节氮潜力的方法分析,常规施氮量减去节氮量即为推荐施氮量。在本研究中,简阳试验点的土壤肥力高于中江试验点,其产量对氮肥的响应不及中江地区敏感,在 HN 的节氮潜力在 48%以上(表 4)。从长期保持土壤养分平衡的角度出发,推荐施肥量应与当地生产实际相结合,不至于消耗地力。较高的节氮潜力是因为农田中含有较多的氮素,因而提出的推荐施肥量只能用于当年或者较短年限[17]。有研究表明提高土壤地力可以提高西南地区玉米产量的稳定性和持续性[2]。因此建议在中高肥力的土壤上选择种植高产氮高效品种,可增产 2.3% ~ 6.1%,建议施氮量为 79 ~ 150 kg·hm^{-2},因为施氮量过高不能增产,甚至会造成产量降低(图 1)。在低肥力土壤上有两种选择,一种是适宜施氮条件下的玉米稳产,目前四川地区主推品种均可达到此类效果(表 4),建议施氮量为 118 ~ 197 kg·hm^{-2};另一种是在稳产的基础上进一步高产,种植高产氮高效品种可增产 6.7% ~ 8.4%,建议施氮量为 204 ~ 265 kg·hm^{-2}。不过在本研究的中江试点,可以通过增施 54 ~ 115 kg·hm^{-2}来增产 600 kg·hm^{-2}(双高效型)和 400 kg·hm^{-2}(高氮高效型),需要考虑增施氮肥的增产效益和环境风险。目前在华北地区产量为 12 000 kg·hm^{-2}的生产水平下,适宜施氮量为 150 ~ 180 kg·hm^{-2};在东北地区产量为 12 000 ~ 14 000 kg·hm^{-2}的生产水平下,推荐施氮量为 180 ~ 240 kg·hm^{-2}[17-18]。而四川地区的玉米产量在 5 900 ~ 8 900 kg·hm^{-2}之间[2, 19],玉米增产潜力和节氮潜力仍需进一步提升。

双高效型在低氮和高氮 2 种环境下均能达到高产和高氮利用效率。米国华等[20]认为玉米氮高效品种应具有较强的穗结实能力以保持籽粒库容、发达的根系以促进氮素的获取、保绿性好的叶片性状以保证碳水化合物的供应。本研究结果表明,穗部和籽粒的发育对产量的形成起着关键作用,穗长、穗粗、行粒数和百粒重等性状受到氮肥显著影响(表 3)。有研究发现从 1992 年至 2017 年我国玉米品种改良过程中,千粒重、穗粗、百粒重和行粒数等改良较快的性状对玉米产量的增产作用影响较大[21-22]。在西南地区,玉米穗长、穗粗、百粒重和行粒数等指标均随着年代的推进而提高[11]。而低氮胁迫会降低穗长、穗粗和百粒重等[23]。灌浆期是玉米产量形成和氮肥利用的关键时期,合理的氮肥投入可延缓植株衰老,保持叶片较高的光合速率,从而优化籽粒灌浆进程,提高氮素利用效率[24-26]。而本研究中,在不同环境和施氮水平下,双高效型品种的穗长、穗粗、穗行数和百粒重整体高于双低效型(表 6)。氮高效型的穗粒发育显著优于氮低效型,即随施氮量增加,高产高效型品种的籽粒发育速率加快,其结实率、穗粒数和单穗质量也较高,产量和氮效率明显增加[27-29]。针对氮高效玉米品种的筛选和遗传改良指标较多,如吐丝期穗位叶叶绿素含量、叶面积、株高、粒重、植株氮含量、穗长、穗粗、行粒数等,但随环境条件及品种本身的特性而不同[7-9, 30-31]。在西南地区选育氮磷钾高效利用的品种是工作重点[10]。本研究发现川中丘陵区玉米的增产潜力与穗粗、百粒重等产量性状呈显著正相关(表 5),因此,对高产氮高效品种的选育应重点关注。此外,未来还需对玉米氮效率的生理基础和分子机制进行深入研究。

4　结论

本研究结果表明,川中丘陵区玉米品种存在氮效率的基因型差异。双高效和高氮高效型如正红 311、川单 189 和绵单1256 具有较高的增产潜力,适合在丘陵区大面积推广种植。耐低氮型如正红 505 和仲玉 3 号种植在土壤肥力较低的土壤仍能保证稳产。因此,在不同肥力条件的土壤上,选择合适的玉米基因型,进行科学施肥,可以实现川中丘陵区玉米的高产和氮肥高效。

参考文献:

[1] 刘鹏, 董树亭, 李少昆, 张吉旺. 高产玉米氮素高效利用[J]. 中国农业科学, 2017, 50(12): 2232-2237

[2] 徐春丽, 谢军, 王珂, 李丹萍, 陈轩敬, 张跃强, 陈新平, 石孝均. 中国西南地区玉米产量对基础地力和施肥的响应[J]. 中国农业科学, 2018, 51(1): 129-138

[3] Chen F J, Fang Z G, Gao Q, Ye Y L, Jia L L, Yuan L X, Mi G H, Zhang F S. Evaluation of the yield and nitrogen use efficiency of the dominant maize hybrids grown in North and Northeast China[J]. Science China Life Sciences, 2013, 56(6): 552-560

[4] Fan M S, Shen J B, Yuan L X, Jiang R F, Chen X P, Davies W J, Zhang F S. Improving crop productivity and resource use efficiency to ensure food security and environmental quality in China[J]. Journal of Experimental Botany, 2012, 63(1): 13-24

[5] Zhang F S, Chen X P, Vitousek P. An experiment for the world[J]. Nature, 2013, 497: 33-35

[6] 张慧, 赵红香, 温立玉, 王庆成, 刘开昌, 赵海军, 李宗新. 黄淮海区域 30 个夏玉米品种干物质积累和氮素转运特性[J]. 玉米科学, 2016, 24(3): 78-84

[7] 崔文芳, 高聚林, 于晓芳, 王志刚, 孙继颖, 胡树平, 苏治军, 谢珉. 高产氮高效玉米品种的筛选及其指标研究[J]. 作物杂

志, 2016(6): 38-43
[8] 王晓慧, 曹玉军, 魏雯雯, 张磊, 王永军, 边少锋, 王立春. 我国北方 37 个高产春玉米品种干物质生产及氮素利用特性[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(1): 60-68
[9] 冯云超, 余志江, 霍仕平, 张兴端, 张健, 晏庆九, 向振凡, 张芳魁. 37 个玉米品种耐低氮能力潜势分析[J]. 华北农学报, 2014, 29(S): 310-317
[10] 潘光堂, 杨克诚. 我国西南地区玉米育种面临的挑战及相应对策探讨[J]. 作物学报, 2012, 38(7): 1141-1147
[11] 霍仕平, 晏庆九, 向振凡, 张芳魁, 冯云超, 张兴端, 余志江. 我国西南地区的玉米育种实践与思考[J]. 作物杂志, 2017(1): 20-24
[12] 米国华, 陈范骏, 张福锁. 作物养分高效的生理基础与遗传改良[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2012: 51-53
[13] Carlone M R, Russell W A. Response to plant densities and nitrogen levels for 4 maize cultivars from different ears of breeding[J]. Crop Science, 1987, 27: 465-470
[14] 米国华. 论作物养分效率及其遗传改良[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(6): 1525-1535
[15] 申丽霞, 王璞. 不同基因型玉米氮素吸收利用效率研究进展[J]. 玉米科学, 2016, 24(1): 50-55
[16] 春亮, 陈范骏, 张福锁, 米国华. 不同氮效率玉米杂交种的根系生长、氮素吸收与产量形成[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(5): 615-619
[17] 米国华, 伍大利, 陈延玲, 夏婷婷, 冯国忠, 李前, 石东峰, 苏效坡, 高强. 东北玉米化肥减施增效技术途径探讨[J]. 中国农业科学, 2018, 51(14): 2758-2770
[18] 孙浒, 张吉旺, 靳立斌. 玉米高产与氮肥高效协同实现存在的问题及其途径[J]. 玉米科学, 2014, 22(1): 143-148
[19] 李强, 马晓君, 程秋博, 豆攀, 余东海, 罗延宏, 袁继超, 孔凡磊. 氮肥对不同耐低氮性玉米品种花后物质生产及叶片功能特性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(1): 17-26
[20] 米国华, 陈范骏, 春亮, 郭亚芬, 田秋英, 张福锁. 玉米氮高效品种的生物学特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(1): 155-159
[21] 陈先敏, 梁效贵, 赵雪, 高震, 吴巩, 申思, 林珊, 周丽丽, 周顺利. 历年国审玉米品种产量和品质性状变化趋势分析[J]. 中国农业科学, 2018, 51(21): 4020-4029
[22] 李召锋, 梁晓玲, 阿布来提, 李明顺, 胡洺, 韩登旭, 邵红雨, 李铭东, 曹连莆. 不同年代主要玉米品种穗部性状演变研究[J]. 玉米科学, 2010, 18(4): 27-31
[23] 张海燕, 孙琦, 张德贵, 石红良, 慈晓科, 李新海, 白丽, 陈岩, 周志强, 董树亭, 李明顺. 低氮胁迫下我国不同年代玉米品种产量及产量构成因子变化趋势研究[J]. 玉米科学, 2013, 21(5): 13-17
[24] 王乐, 康建宏, 梁熠, 冯朋博, 徐灿. 控释/普通尿素配施对春玉米籽粒灌浆特性及产量的影响[J]. 核农学报, 2018, 32(10): 2054-2061
[25] 吴雅薇, 李强, 豆攀, 马晓君, 余东海, 罗延宏, 孔凡磊, 袁继超. 氮肥对不同耐低氮性玉米品种生育后期叶绿素含量和氮代谢酶活性的影响[J]. 草业学报, 2017, 26(10): 188-197
[26] Mu X H, Chen Q W, Chen F J, Yuan L X, Mi G H. Within-leaf nitrogen allocation in adaptation to low nitrogen supply in maize during grain-filling stage[J]. Frontiers in Plant Science, 2016, 7: 699
[27] 李强, 马晓君, 程秋博, 豆攀, 余东海, 罗延宏, 孔凡磊, 袁继超. 氮肥对不同耐低氮性玉米品种氮素吸收利用及氮素平衡的影响[J]. 水土保持学报, 2016, 30(3): 172-183
[28] 晁晓乐, 申丽霞, 吕静瑶. 施氮对不同基因型玉米籽粒发育和氮效率的影响[J]. 华北农学报, 2016, 31(1): 198-202
[29] 米国华, 陈范骏, 袁力行. 氮素调节玉米幼穗及籽粒发育的生理机制[J]. 土壤与作物, 2012, 1(4): 193-198
[30] 陈范骏, 米国华, 春亮,刘建安, 王艳, 张福锁. 玉米氮效率的杂种优势分析[J]. 作物学报, 2004, 30(10): 1014-1018
[31] 钟思荣, 龚丝雨, 张世川, 陈仁霄, 刘齐元, 翟小清. 作物不同基因型耐低氮性和氮效率研究进展[J]. 核农学报, 2018, 32(8): 1656-1663

Journal of Nuclear Agricultural Sciences
2020,34(11):2569~2577

Screening of N-Efficient Maize Varieties and Analysis for Their Yield Increase Potentials in Central Sichuan Basin

GUO Song[1] ZENG Xiangzhong[1] CHEN Kun[1] LU Tingqi[2] SHANG-GUAN Yuxian[1]
ZHOU Zijun[1] TU Shihua[1] QIN Yusheng[1,*]
([1]*Soil and Fertilizer Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu, Sichuan* 610066;
[2]*Mianyang Academy of Agricultural Sciences, Mianyang, Sichuan* 621023)

Abstract: High yield and high nitrogen (N) efficiency maize breeding is one of the strategies to increase crop yield and simultaneously reduce fertilizer input. In the present study, 11 commercial maize varieties were used to study kernel yield and ear characteristics at two locations (Jianyang and Zhongjiang) with LN, MN and HN nitrogen (0,150 and 300 kg N·hm^{-2}) rates in the Southwest China. ANOVA and correlation analysis were used to analyze all these yield component data. Nitrogen efficiency of maize cultivars were grouped according to genotype × nitrogen response interaction, in order to analyze yield increase potential and related yield components. We found that, grain yield was significantly affected by the interaction among genotype (G), nitrogen (N), and location (L). The ear diameter and 100-kernel weight were significantly influenced by interaction between genotype and N. There were differences in nitrogen efficiency genotype among 11 experimental maize varieties. Based on the average yields achieved with high or low N application, the tested varieties were classified into four types: Efficient-efficient, high-N efficient, low-N efficient and nonefficient-nonefficient under neither low nor high N inputs. High-yielding and N-efficient varieties (efficient-efficient and high-N efficient) was 45.5% of the total cultivar numbers used. efficient-efficient and high-N efficient varieties could potentially increase maize yield by 6.74 ~ 7.54% or 9.88 ~ 13.45% under either high or low N rates. And efficient-efficient and high-N efficient varieties showed different potential of reducing N input under different locations. Under HN rates, N input could be reduced more than 19.18% in high-yielding and N-efficient varieties. Percentage yield increase had a significant positive correlation between ear diameter and 100-kernel weight. Zhenghong 311, Chuandan189 and Miandan1256 showed a high-yielding and N-efficient potential at both locations. These results indicated that selecting and cultivating maize varieties with high-yielding and N-efficient potentials or low-N efficient feature on soils with different fertility can increase yield and reduce N input in the Central Sichuan Basin. This study provides some advice for the breeding of high yield and high N-efficiency maize varieties.

Keywords: maize, nitrogen, varieties, high-yielding and N-efficient, yield