



马延华,孙德全,李绥艳,等.施氮量和种植密度对玉米品种龙育828产量及氮利用特性的影响[J].黑龙江农业科学,2019(11):33-38.

施氮量和种植密度对玉米品种龙育828产量及氮利用特性的影响

马延华,孙德全,李绥艳,林红,潘丽艳,吴建忠,李东林,杨国伟

(黑龙江省农业科学院 草业研究所,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:为促进玉米高产高效,以龙育828为供试品种,设置3个施氮水平(150,300,450 kg·hm⁻²)和3个种植密度(52 500,60 000,67 500 株·hm⁻²),研究施氮量和种植密度对龙育828产量和氮利用特性的影响。结果表明:施氮量和种植密度均显著影响龙育828产量及其构成因素。在本试验设置密度范围内,增加种植密度,龙育828产量显著提高;随着施氮量的增加,龙育828产量在低密度(52 500 株·hm⁻²)条件下显著增加,而在中密度(60 000 株·hm⁻²)和高密度(67 500 株·hm⁻²)条件下呈先增后降趋势。提高氮肥施用量,氮肥偏生产力(NPFP)、氮肥农学利用率(ANUE)、氮肥利用率(NUE)、氮素收获指数(NHI)整体呈下降趋势;随着密度的提高,在低氮(150 kg·hm⁻²)和中氮(300 kg·hm⁻²)条件下,NPFP、ANUE、NUE呈增加趋势,NHI呈下降趋势,而在高氮(450 kg·hm⁻²)条件下,NHI和NUE呈降低趋势,NPFP和ANUE呈增加趋势。在施氮量300 kg·hm⁻²和种植密度为67 500 株·hm⁻²时,玉米产量最高(11 217 kg·hm⁻²)且显著高于其他处理。氮肥利用率最高的组合则是施氮量150 kg·hm⁻²与密度67 500 株·hm⁻²。因此,考虑到产量和经济效益,在本试验条件下认为施氮量为300 kg·hm⁻²与密度为67 500 株·hm⁻²的组合为最适宜处理。

关键词:玉米;施氮量;种植密度;产量;氮利用特性

黑龙江省是全国玉米播种面积最大的省份,常年播种面积在600万hm²左右,一直是我国最重要的玉米商品粮生产基地^[1]。玉米作为黑龙江省主栽作物,单产水平的高低决定玉米总产以及粮食总产,直接影响农民的经济效益,并对我国粮食安全生产有重要影响。选育早熟、高产、优质玉米新品种,是提高黑龙江省玉米生产能力的重要措施之一。龙育828是黑龙江省农业科学院草业研究所自选系TD01为母本、以自交系T38为父本杂交选育而成的玉米新品种,于2017年4月通过黑龙江省农作物品种审定委员会审定。该品种具有产量高、熟期早、成熟后脱水快、耐密植、抗倒伏、易脱粒等特征特性^[2]。许多研究表明,合理的施氮量和种植密度,有利于提高玉米产量和氮肥利用效率^[3-6],将栽培措施与肥料施用有机结合,充分发挥品种自身生产潜能,达到高产、优质、低耗和环境友好的目的一直是玉米发展战略面临的重大课题。玉米新品种龙育828育成的时间较短,目前还没有关于该品种施氮量和种植密度的研究报道。为加快该品种在黑龙江省的大面积推

广,本研究在大量文献结论表明施氮量和种植密度是影响玉米产量的关键因子的前提下,以施氮量和种植密度为因素,探讨其对龙育828产量及氮利用特性的影响,以期明确该品种在黑龙江省种植的最适需氮量和种植密度,为玉米的高产高效生产提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2016-2017年在黑龙江省巴彦县龙泉镇福乡村(46°11'N,127°30'E)进行,该地区位于黑龙江省第二积温带,属中温带大陆性季风气候。年平均气温2.5~3.5℃,多年平均降雨量450~650 mm,无霜期125~135 d。本试验田土壤为黑钙土,地势平坦、排灌方便,0~30 cm土壤含有机质31.35 g·kg⁻¹、全氮1.98 g·kg⁻¹、碱解氮144.51 mg·kg⁻¹、速效磷35.36 mg·kg⁻¹、速效钾202.13 mg·kg⁻¹,pH 6.68。

1.2 材料

以玉米新品种龙育828为试验材料。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 设置4个氮肥水平,分别为0,150,300,450 kg·hm⁻²,尿素为肥源;设置3个密度水平,分别为52 500,60 000,67 500 株·hm⁻²。按裂区设计排列,以密度为主处理,以施氮量为副处

收稿日期:2019-07-11

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFD0300501)。

第一作者简介:马延华(1977-),男,博士,副研究员,从事玉米遗传育种及高产栽培技术研究。E-mail:mayanhua1234@163.com。

理,共 12 个处理,每个处理 3 次重复。每个小区 5 行,行长 10 m,行距 0.65 m,小区面积 32.5 m²。磷钾肥全部基施,其中,磷肥为重过磷酸钙 135.50 kg·hm⁻²(含 P₂O₅ 46.0%),钾肥为氯化钾 126.50 kg·hm⁻²(含 K₂O 60.0%);氮肥为普通尿素(46%.0)两分次施入,基施 40%、6 月 30 日(大喇叭口期)追施 60%。2016 年试验于 4 月 30 日播种,10 月 3 日收获,2017 年试验于 5 月 2 日播种,10 月 5 日收获,其他管理方法按高产田进行。

1.3.2 测定项目及方法 测产时收取小区中间 3 行全部果穗,风干脱粒后称籽粒重量,测含水量,折成 14% 水分计产。室内考种,调查穗行数、行粒数、千粒重。在每个小区选取 5 株有代表性植株,按籽粒和植株分开,植株样品经 105 ℃ 杀青 30 min 后于 80 ℃ 下烘干至恒重,称重后粉碎,分别测定籽粒和植株的水分质量分数。植株和籽粒全氮含量采用凯氏定氮法。

1.3.3 相关指标计算

氮肥偏生产力(NPFP)=施氮区籽粒产量/施氮量^[7];

氮肥农学效率(NAE)=(施氮区籽粒产量/不施氮区籽粒产量)/施氮量^[7];

氮肥利用率(NUE)=(施氮区植株氮吸收量/不施氮区植株氮吸收量)/施氮量×100^[7];

氮收获指数(NHI)=成熟期籽粒氮素积累量/植株氮素积累总量×100^[7]。

1.3.4 数据分析 试验数据采用 Microsoft Excel 2007 统计处理,用 Duncan's 新复极差法法进行差异显著性检验。两年试验结果趋势一致,若无特别说明,均以两年数据平均值进行分析。

2 结果与分析

2.1 施氮量和种植密度对龙育 828 产量的影响

由表 1 可知,种植密度、施氮量、施氮量与种植密度的互作对玉米产量的影响均达到了极显著水平(表 1)。在相同施氮量条件下,随着种植密度的增加,玉米产量呈逐渐升高趋势;不施氮条件下,种植密度 60 000 株·hm⁻²(中密)、67 500 株·hm⁻²(高密)处理龙育 828 产量比种植密度 52 500 株·hm⁻²(低密)增加 27.1% 和 38.4%,均达到显著水平。种植密度 60 000 株·hm⁻²(中密)和 67 500 株·hm⁻²(高密)两个处理之间产量差异不显著。在 150 kg·hm⁻²(低氮)、300 kg·hm⁻²(中氮)、450 kg·hm⁻²(高氮)三种施氮条件下,随着密度的加,龙育 828 产量均显著增加。这说明种植密度

在不同施氮条件下均有增产效应。

在低密度条件下,随着施氮量的增加,玉米产量呈增加趋势。在中密度和高密度条件下,施氮对玉米的增产效应先升后降。比较不同施氮条件下 3 个种植密度处理的玉米产量的平均值,结果表明 4 种氮肥处理间玉米产量除中氮与高氮处理差异不显著外,其余处理之间差异均达到显著水平。

从密度与施氮量互作对产量的影响方面分析,在不同的密度处理条件下,最高产量值均存在一定的差异,各处理间均达到了显著水平;除低密度处理龙育 828 达到最高产量的施氮量为 450 kg·hm⁻²外,其余种植密度下龙育 828 达到最高产量的施氮量均为 300 kg·hm⁻²。因此,不同的密度处理龙育 828 达到最高产量的最佳施氮量存在较大差异。其中,密度为 67 500 株·hm⁻²、施氮量为 300 kg·hm⁻² 时产量最高,达到了 11 217 kg·hm⁻²,分别较 52 500 和 60 000 株·hm⁻² 密度处理的最高产量高 43.8% 和 12.2%;比施氮量为 450 kg·hm⁻² 密度为 52 500 株·hm⁻² 处理的产量高 35.4%。这表明在种植玉米龙育 828 时,适度提高种植密度的同时,合理降低氮肥使用量,也能达到较高的产量,进而实现了增产增效。

2.2 施氮量和种植密度对龙育 828 产量构成因素的影响

由表 1 可知,种植密度对穗数、穗粒重及千粒重的影响均达到了极显著水平;施氮量对穗粒重及千粒重的影响极显著,对穗数的影响不显著;施氮量与密度的互作对穗数、千粒重的影响极显著,对穗粒重的影响达到了显著水平。

在同一施氮量水平下,随着种植密度的提高,穗数呈逐渐上升趋势,穗粒数和千粒重均呈逐渐减少趋势。相同施氮量条件下不同密度各处理之间穗数平均值差异达到显著水平,穗粒数平均值除在低氮条件下差异不显著外,其余处理间差异达到显著水平。在中氮和高氮条件下不同密度各处理之间千粒重差异达到显著水平,而不施氮和低氮条件下,处理间差异不显著。

相同密度条件下,随着施氮量的增加,穗粒数呈逐渐增加趋势,千粒重呈先升高后降低趋势,而穗数指标值在低密度处理下逐渐增加,在中密度下逐渐增加,在高密度高氮处理下先升高后降低。

从密度与施氮量互作对产量构成因素的影响看,密度为 67 500 株·hm⁻²、施氮量为 300 kg·hm⁻² 时穗数最高;密度为 52 500 株·hm⁻²、施氮量为

450 kg·hm⁻² 时穗粒数值最高;密度为 52 500 株·hm⁻²、施氮量为 300 kg·hm⁻² 时千粒重值最高。综上所述,中氮密植处理获得最高产量

主要是因为密植在增加穗数的同时对每穗粒数的影响较小,而减少施氮量还可以提高千粒重。

表 1 施氮量和种植密度对龙育 828 产量及其构成因素的影响

Table 1 Effects of nitrogen application amount and planting density on yield and its composition of Longyu 828

施氮量 N application amount/ (kg·hm ⁻²)	种植密度 Planting density/ (plant·hm ⁻²)	穗数 Ear number/ (ear·hm ⁻²)	穗粒数 Kernels per ear	千粒重 1000-grain weight/g	产量 Yield/ (kg·hm ⁻²)
0	52500	53210 e	502 bc	330 fg	4479 e
	60000	58980 c	388 e	318 h	5691 d
	67500	62490 b	333 f	315 h	6201 d
150	52500	55160 d	494 c	346 d	5828 d
	60000	58150 c	481 cd	339 de	8308 c
	67500	63230 ab	451 d	326 g	9330 b
300	52500	54425 d	543 a	386 a	7803 c
	60000	59145 c	518 b	364 c	9995 b
	67500	63855 a	474 cd	340 de	11217 a
450	52500	53915 e	545 a	376 b	8287 c
	60000	59640 c	520 b	344 d	9563 b
	67500	63025 ab	504 bc	334 ef	11059 a
种植密度 Plant density(A)	**	**	**	**	**
施氮量 N application amount(B)	**	ns	**	**	**
种植密度×施氮量 A×B	**	**	*	**	**

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异达 5%显著水平。ns 表示差异不显著;* 表示差异达 5%显著水平;** 表示差异达 1%显著水平。下同。

Note:Different lowercase letters after the same column data indicate the significant difference at the 5% probability level. ns represents no significant difference; * represents significant difference at the 5% probability level; ** represents significant difference at the 1% probability level. The same as below.

2.3 种植密度和施氮量对龙育 828 氮利用特性的影响

由表 2 可知,种植密度、施氮量对玉米氮肥偏生产力(NPFP)、氮肥农学利用率(ANUE)、氮肥利用率(NUE)、氮素收获指数(NHI)的作用,除施氮量对氮素收获指数影响为显著外,对其他指标的影响均达到了极显著水平;而施氮量与密度的互作对氮肥偏生产力的影响极显著,对氮肥利用率的影响显著,对氮肥农学利用率和氮素收获指数的影响不显著。

在低氮和中氮条件下,随着种植密度的增加,NUE、NPFP 和 ANUE 呈增加趋势。NHI 在中密度条件下呈下降趋势,在低氮条件下无明显变化。而在高氮条件下,NHI 和 NUE 呈逐渐降低趋势,NPFP 和 ANUE 呈增加趋势。

相同密度条件下,随着施氮量增加,NHI、NPFP 和 ANUE 均呈降低趋势,其中各施氮处理

之间 NPFP、ANUE 平均值差异均达到显著水平,而 NHI 平均值在高密度条件下处理间差异达显著水平,在低、中密度条件下处理间差异不显著。相同密度条件下,NUE 在低、中密度条件下呈先增后降趋势,在高密度条件下呈下降的趋势。

从密度与施氮量互作对氮素利用效率指标的影响看,密度为 67 500 株·hm⁻²、施氮量为 150 kg·hm⁻² 时 NUE、ANUE 和 NPFP 值最高;密度为 52 500 株·hm⁻²、施氮量为 300 kg·hm⁻² 时 NHI 值最高。综上所述,高密低氮条件下可以获得较高的氮肥偏生产力、氮肥农学利用率及氮肥利用率,即当种植密度较高时,可通过适当降低施氮量来增加玉米的氮肥利用效率。在生产实际中应充分考虑种植密度与施氮量的互作效应,通过适当的提高氮肥农学利用率、氮肥利用率和氮肥偏生产力,达到玉米产量与氮肥利用效率共同提升的目的。

表 2 施氮量和种植密度对龙育 828 氮素利用效率的影响

Table 2 Effects of nitrogen application amount and planting density on nitrogen utilization efficiency for Longyu 828

施氮量 N application amount/(kg·hm ⁻²)	种植密度 Planting density/ (plant·hm ⁻²)	氮素收获指数 NHI	氮肥利用效率 NUE/%	氮肥偏生产力 NPPF/ (kg·kg ⁻¹)	氮肥农学利用效率 ANUE/ (kg·kg ⁻¹)
0	52500	0.73 a			
	60000	0.71 c			
	67500	0.71 c			
150	52500	0.71 c	30.3 d	71.6 c	15.3 c
	60000	0.71 c	35.7 bc	96.0 b	22.0 b
	67500	0.71 c	41.4 a	103.1 a	26.8 a
300	52500	0.72 ab	31.7 cd	30.8 f	12.1 c
	60000	0.71 c	37.6 ab	36.9 e	12.2 c
	67500	0.69 d	38.7 ab	40.7 d	15.3 c
450	52500	0.71 c	17.6 e	18.3 h	7.0 d
	60000	0.69 d	16.5 e	21.0 gh	6.2 d
	67500	0.63 e	16.5 e	23.8 g	8.6 d
种植密度 Plant density(A)	**	**	**	**	**
施氮量 N application amount(B)	**	*	**	**	**
种植密度×施氮量 A×B	**	ns	*	**	ns

3 结论与讨论

3.1 施氮量和种植密度对玉米产量形成的影响

施氮量和种植密度是影响玉米产量的决定性因素。大量的研究表明,适宜的种植密度、适量的施氮量不仅能够显著地提高玉米产量,还能够提高肥料利用效率。田生昌等^[8]研究指出,当尿素(含N46%)施用量为 398.0 kg·hm⁻²时,先玉 335产量最高(15 729.2 kg·hm⁻²),比不施肥增产35.7%;王宜伦等^[9]研究指出,300 kg·hm⁻²为郑单 958施尿素(含 N46%)量的临界值,该条件下的玉米产量和收益最佳,并能促进氮素的吸收积累。房琴等^[10]提出超高产玉米农单 902 最佳的种植密度与施氮量组合为尿素(含 N46%)施用量375 kg·hm²与种植密度 67 500 株·hm²。王磊等^[11]研究表明郑单 958 在 高密度(97 500 株·hm⁻²)下的产量比低密度(67 500·hm⁻²)高出338.56 kg·hm⁻²,而先玉 335 则高出 500.5 kg·hm⁻²;尚虎山等^[12]研究指出,干旱区玉米种植密度为 72 000 株·hm⁻²、施尿素(含 N46%)量为 675 kg·hm⁻²可达到高产、稳产的效果。综上所述,不同地域玉米种植区产量之间差异非常大,当种植环境条件发生变化时,种植密度、氮肥施用量和产量的变化关系存在较大差异,而且不同玉米品种的最适种植密度和施氮量也不一致,当种植密度或者施氮量提高时,玉

米产量也会增加,但产量增加的幅度会逐渐减少。在特定的限度区间施氮量、种植密度与产量呈抛物线函数关系^[13]。本试验结果表明,有效穗数对玉米产量的影响最大,每穗粒数次之,这说明增加有效穗数及提高结实率是提高玉米产量最有效的途径。与冯尚宗等^[14]的试验结论基本相同。在本试验设置密度范围内,3 种施氮条件下,随着密度的加大,龙育 828 产量均显著增加。说明种植密度在不同施氮条件下均有增产效应。这是由于玉米是单秆作物,一般每株只结一个果穗,在提高和稳定单穗重的基础上,增加株数对产量的提高是最直接有效的^[15]。在中密度和高密度条件下,进一步提高氮肥用量时,玉米的增产效应先升后降。原因是氮肥施用过量时玉米营养器官生长过于旺盛,造成徒长,群体之间的竞争加强,后期结实率降低,从而导致产量降低^[16]。当施氮量从 300 kg·hm⁻²提高到 450 kg·hm⁻²,玉米产量显著降低,这表明投入过多的氮肥并不一定能够达到追求高产的目的。本研究中,在施氮量为 300 kg·hm²、种植密度为 67 500 株·hm⁻²条件下龙育 828 的产量最高,为 11 217 kg·hm⁻²。

3.2 施氮量和种植密度对玉米氮素利用率的影响

据统计,近 10 年来,中国玉米的氮肥表观利用率平均在 29%左右^[17]。未被吸收利用的氮素

残留在土壤中,既可造成作物体内硝酸盐含量积累、品质下降等,又能导致由于土壤中硝态氮的过量积累所引起的地下水硝酸盐含量超标等的环境污染问题^[18]。针对当前玉米氮素利用率偏低、土壤硝态氮积累破坏环境以及玉米生产成本上升等现象,许多科研人员应用氮高效玉米品种^[19-22]、调控施肥的管理及方式^[23-25]以及施用新型肥料^[26-27]等多种途径来提高氮肥利用效率。本研究结果表明,通过适当减少氮肥施用量能够提高氮肥利用效率,这与前人研究结果^[12-14,28-30]一致。龙育 828 施氮量从 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 增加至 $450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,氮肥利用效率、农学利用率和偏生产力平均值分别从 $35.8, 21.4, 90.2 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 降低至 $16.9, 7.3, 21.0 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$,分别降低了 52.8% 、 65.9% 和 76.7% 。当氮肥施用量过高会使玉米体内氮素含量过多,营养生长期过长,生殖生长期相对变短,影响籽粒干物质形成,致使氮素收获指数减少。因此,在一定的密度范围内,合理降低氮肥用量可以增加玉米的氮肥利用效率。在生产中应协调好种植密度与施氮量的互作关系,合理提高氮肥利用率,促进产量与氮肥利用效率协同增加。在本试验中,施氮量 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、种植密度 $67\ 500 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 是龙育 828 氮肥利用率最高的组合。因此,从提高经济效益,减少氮素流失等方面综合考虑,本试验条件下施氮量为 $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 与密度为 $67\ 500 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的组合为最适宜处理。

由于本试验种植密度处理区间范围较小,没有达到产量降低的密度上限,分析原因可能是由于不同玉米品种对施氮量及种植密度需求差异造成的,试验最高密度上限设置偏低。本试验只是针对不同施氮量对龙育 828 的氮素吸收与利用进行研究,不同施氮比例、施氮时期等方面的影响还有待进一步研究。

3.3 结论

本试验条件下,施氮量和种植密度均显著影响龙育 828 产量及其构成因素。有效穗数对玉米产量的影响最大,每穗粒数次之。在本试验设置密度范围内,增加种植密度,龙育 828 产量显著提高;随着施氮量的增加,龙育 828 产量在低密度($52\ 500 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$)条件下显著增加,而在中密度($60\ 000 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$)和高密度($67\ 500 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$)条件下呈先增后降趋势。当施氮量从 $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 提高到 $450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,玉米产量明显降低,这表明投入过多的氮肥并不一定能够达到追求高产的目的。在中氮水平 $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 条件下,合理增加种

植密度是提高产量的有效途径。

种植密度、施氮量对玉米氮肥偏生产力(NPFP)、氮肥农学利用率(ANUE)、氮肥利用率(NUE)、氮素收获指数(NHI)均存在显著或极显著的影响。提高氮肥施用量,NPFP、ANUE、NUE、NHI 显著下降;随着密度的提高,在低氮($150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)和中氮($300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)条件下,NPFP、ANUE、NUE 呈增加趋势,NHI 呈下降趋势,而在高氮($450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)条件下,NHI 和 NUE 呈降低趋势,NPFP 和 ANUE 呈增加趋势。施氮量 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、种植密度 $67\ 500 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 是龙育 828 氮肥利用率最高的组合。因此,从提高经济效益、减少氮素流失等方面综合考虑,黑龙江省第二积温带区域龙育 828 的节本增效技术处理为施氮量 $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、密度 $67\ 500 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

参考文献:

- [1] 甄善继,李明,高祺,等. 黑龙江省玉米生产分析与未来方向[J]. 中国农业资源与区划,2018,39(4):14-21.
- [2] 马廷华,孙德全,李绥艳,等. 早熟、高产、适宜机收玉米新品种龙育 828 的选育及栽培技术[J]. 种子,2019,38(2):127-128.
- [3] 申丽霞,王璞,张软斌. 施氮对不同种植密度下夏玉米产量及子粒灌浆的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2005(11):314-319.
- [4] 周培禄,任红,齐华,等. 氮肥用量对两种不同类型玉米杂交种物质生产及氮素利用的影响[J]. 作物学报,2017,43(2):263-276.
- [5] 吕鹏,张吉旺,刘伟,等. 施氮量对超高产夏玉米产量及氮素吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011(17):852-860.
- [6] Mosisa W, Marianne B, Gunda S, et al. Nitrogen uptake and utilization in contrasting nitrogen efficient tropical maize hybrids[J]. Crop Science, 2007, 47(2):519-528.
- [7] 张福锁,王激清,张卫峰,等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报,2008,45(5):915-924.
- [8] 田生昌,马建军,钱云德,等. 种植密度与施氮量对宁夏玉米产量和氮肥肥效的影响[J]. 宁夏大学学报,2014,35(1):71-77.
- [9] 王宜伦,刘天学,赵鹏,等. 施氮量对超高产夏玉米产量与氮素吸收及土壤硝态氮的影响[J]. 中国农业科学,2013,46(12):2483-2491.
- [10] 房琴,高影,王红光,等. 密度和施氮量对超高产夏玉米干物质积累和产量形成的影响[J]. 华北农学报,2015(30):133-138.
- [11] 王磊,高杰,渠建洲,等. 两种密度下不同玉米品种的高产稳产及适应性分析[J]. 玉米科学,2016,24(2):136-141.
- [12] 尚虎山,南铭,李晶. 不同密度与施氮量对干旱区玉米产量及其构成因素的影响研究[J]. 干旱地区农业研究,2015,33(6):128-132.
- [13] 曹胜彪,张吉旺,董树亭,等. 施氮量和种植密度对高产夏

- 玉米产量和氮素利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(6): 1343-1353.
- [14] 冯尚宗, 王世伟, 彭美祥, 等. 种植密度和施氮量对高产夏玉米产量、干物质积累及氮素利用效率的影响[J]. 河北农业科学, 2015, 19(3): 18-26, 69.
- [15] 王崇桃, 李少昆, 韩伯棠. 玉米高产之路与产量潜力挖掘[J]. 科技导报, 2006, 24(4): 8-11.
- [16] 刘兆辉, 薄录吉, 李彦, 等. 氮肥减量施用技术及其对作物产量和生态环境的影响综述[J]. 中国土壤与肥料, 2016(4): 1-8.
- [17] 于飞, 施卫明. 近 10 年中国大陆主要粮食作物氮肥利用率分析[J]. 土壤学报, 2015, 52(6): 1311-1324.
- [18] Zhu Z L, Chen D L. Nitrogen fertilizer use in China-Contributions to food production, impacts on environment and best management strategies[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2002, 63(2-3): 117-127.
- [19] 关义新, 林葆, 凌碧莹. 光、氮及其互作对玉米幼苗叶片光合和碳、氮代谢的影响[J]. 作物学报, 2000, 26(6): 806-812.
- [20] 黄高宝, 张恩和, 胡恒觉. 不同玉米品种氮素营养效率差异的生态生理机制[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(3): 293-297.
- [21] Machado A T, Magalhaes J R, Magnavaca R, et al. Activity of enzymes involved in the nitrogen metabolism in different maize genotypes[J]. Revista Gb rasileira de Fisiologia Vegetal, 1992, 4(1): 45-47.
- [22] 王艳, 米国华, 陈范骏, 等. 玉米自交系氮效率基因型差异的比较研究[J]. 应用与环境生物学报, 2002, 8(4): 361-365.
- [23] 张杰, 臧贺藏, 李国强, 等. 实时氮肥调控对夏玉米产量和氮素利用效率的影响[J]. 玉米科学, 2016, 24(1): 123-129.
- [24] 战秀梅, 李亭亭, 韩晓日, 等. 不同施肥方式对春玉米产量、效益及氮素吸收和利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4): 861-868.
- [25] 谢迎新, 刘园, 靳海洋, 等. 施氮模式对砂质潮土氮挥发、夏玉米产量及氮肥利用率的影响[J]. 玉米科学, 2015, 23(2): 124-129.
- [26] 李伟, 李絮花, 李海燕, 等. 控释尿素与普通尿素混施对夏玉米产量和氮肥效率的影响[J]. 作物学报, 2012, 38(4): 699-706.
- [27] 庄振东, 李絮花. 腐植酸氮肥对玉米产量、氮肥利用及氮肥损失的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(5): 1232-1239.
- [28] 赵营, 同延安, 赵护兵. 不同施氮量对夏玉米产量、氮肥利用率及氮平衡的影响[J]. 土壤肥料, 2006(2): 30-33.
- [29] 李广浩, 刘娟, 董树亭, 等. 密植与氮肥用量对不同耐密型夏玉米品种产量及氮素利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(12): 2247-2258.
- [30] 钱春荣, 于洋, 宫秀杰, 等. 黑龙江省不同年代玉米杂交种氮肥利用效率对种植密度和施氮水平的响应[J]. 作物学报, 2012, 38(11): 2069-2077.

Effects of Nitrogen Application Amount and Planting Density on Yield and Nitrogen Utilization Characteristics of Maize Vaviety Lonyu 828

MA Yan-hua, SUN De-quan, LI Sui-yan, LIN Hong, PAN Li-yan, WU Jian-zhong, LI Dong-lin, YANG Guo-wei

(Institute of Pratacultural Sciences, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086)

Abstract: In order to promote high yield and high efficiency of maize production, field experiments were carried out to investigate the interactive effect of N application amount ($150, 300, 450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) and planting densities ($52\ 500, 60\ 000, 67\ 500 \text{ plant} \cdot \text{hm}^{-2}$) on maize yield and N utilization characteristics of Longyu 828. The results showed that both N application amount and planting density showed significant effects on the maize yield. The maize yield significantly increased with the increase of planting density. The maize yield significantly increased with the increase of nitrogen application amount in the low density ($52\ 500 \text{ plants} \cdot \text{hm}^{-2}$), while showed increased at first, then decreased in the middle density ($60\ 000 \text{ plants} \cdot \text{hm}^{-2}$) and high desity ($62\ 500 \text{ plants} \cdot \text{hm}^{-2}$). Increasing N application amount could significantly decrease N partial factor productivity (NPFP), N agronomic efficiency (NAE), N utilization efficiency (NUE) and N harvest index (NHI). NPFP, ANUE and NUE increased with the increase of planting density in the low N application rate ($150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) and middle N application rate ($300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), NHI was decreased, while NHI and NUE were decreased, NPFP and ANUE were increased under the high N application rate ($450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$). The highest maize yield ($11\ 217 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) was found with the N application rate of $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ and planting density of $67\ 500 \text{ plant} \cdot \text{hm}^{-2}$, which was significantly higher than that of other treatments; N use efficiency was the amount $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ and density of $67\ 500 \text{ plant} \cdot \text{hm}^{-2}$. Considering the yield and economic benefit, we thought that N application rate of $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ and planting density of $67\ 500 \text{ plant} \cdot \text{hm}^{-2}$ combination was the most appropriate treatment.

Keywords: maize; nitrogen application rate; planting density; yield; nitrogen utilization characteristics