



牛忠林,靳晓春,蒋佰福,等. 环境和密度互作对合玉 29 农艺性状与产量的影响[J]. 黑龙江农业科学,2020(12):19-25.

环境和密度互作对合玉 29 农艺性状与产量的影响

牛忠林,靳晓春,蒋佰福,邱磊,吴丽丽,李如来,高洪涛

(黑龙江省农业科学院 佳木斯分院,黑龙江 佳木斯 154007)

摘要:黑龙江省农业科学院佳木斯分院高产玉米研究所育成的玉米新品种合玉 29(2017014)具有高产、稳产、茎秆坚硬抗倒伏、叶部病害发病少等特点,较对照显著增产(6.09%)。在适合的产量环境推广合玉 29 可为黑龙江省的玉米增产和群众增收提供良种和技术支撑。为促进黑龙江省玉米生产发展,以合玉 29 为材料,设置 3 个环境 \times 3 个密度互作试验,研究不同产量环境对玉米农艺性状、产量和生育期的影响。结果表明:随着种植密度的增加,合玉 29 株高、叶面积指数增高;茎粗、最大展开叶叶面积降低;单株干物质积累量降低,但群体干物质积累量升高;合玉 29 在绥化、佳木斯种植密度 6.75 万株 \cdot hm²条件下达到最大值,在齐齐哈尔种植密度 7.50 万株 \cdot hm²条件下达到最大值。综合 2 年试验结果表明在黑龙江省东中部地区种植密度 6.75 万株 \cdot hm²能够做到群体和个体的产量性状相对较为协调,黑龙江省西部地区可以适当增加种植密度。

关键词:玉米;密度;农艺性状;产量

玉米品种农艺性状与产量性状对产量环境变化的响应存在明显差异,产量环境是该品种种植密度高低的决定性因素。在新育成玉米品种推广之前,应设置多环境 \times 多密度互作试验,测选出新品种在不同产量环境下的密度适应性与风险性,明确该品种在不同产量环境下的最适密度^[1]。合理密度的设置是玉米品种生产的重要措施,过低的密度导致玉米籽粒库不足,过高又导致严重的倒伏与较差的结实性,合理的种植密度不仅能提高作物对土壤水分和养分的利用,还能提高该品种经济效益。生产实践中,应根据自然资源选择适宜种植密度,尽量挖掘品种的密植潜力^[2]。

玉米最佳密度与产量环境密切相关,不同产量环境间玉米适宜密度存在明显差异。玉米种植区的有效积温、降水与品种密度高低密切相关。从黑龙江省东部到西部,积温和降水逐渐变化,对玉米品种种植密度产生影响。

黑龙江省农业科学院佳木斯分院高产玉米研究所育成的玉米新品种合玉 29(2017014)具有高产、稳产、茎秆坚硬抗倒伏、叶部病害发病少等特点。较对照显著增产(增产 6.09%)。因此,在适合的产量环境推广合玉 29 极为迫切,可为黑龙江

省的玉米增产和群众增收提供良种和技术支撑,促进黑龙江省玉米生产发展。因此,本研究以合玉 29 为材料,采用 3 种密度测定不同时期农艺性状变化量与成熟期产量性状,明确不同产量环境对于合玉 29 的影响与不同地区的最优种植方式。

1 材料与方法

1.1 材料

选用玉米品种合玉 29 为供试材料。2018 和 2019 年 5 月 3 日分别种植于黑龙江省农业科学院佳木斯分院试验地(46°47'24"N,130°24'8"E,海拔 80 m)、黑龙江省农业科学院绥化分院试验地(46°36'N,126°58'E,海拔 174 m)、黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院试验地(47°16'N,123°41'E,海拔 149 m)。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验设 3 个密度处理,M1、M2、M3 分别代表 6.00 万、6.75 万和 7.50 万株 \cdot hm²,采用 65 cm 垄作,大区试验,不设重复,每个品种种植面积 667 m²。

1.2.2 调查项目及方法 记录各生育时期。苗期(V3)、拔节期(V6)、抽雄期(VT)、灌浆期(R2)、乳熟期(R3)、蜡熟期(R5)、完熟期(R6)调查株高。V6、VT、R2、R3、R5、R6 调查茎粗。V3、V6、VT、R2、R3、R5、R6 调查最大展开叶叶面积(MULA)和叶面积指数(LAI)。V3、V6、VT、R2、R3、R5、R6 调查叶片干物质质量(LDW)和

收稿日期:2020-08-20

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFD0300303-3,2018YFD0300103)。

第一作者:牛忠林(1974-),男,硕士,副研究员,从事玉米遗传育种研究。E-mail:niuzhonglin_163@163.com。

茎秆干物质质量(SDW)。成熟后测产。

1.2.3 数据分析 利用 Excel 2007 进行数据整理和作图,用 SAS v9.0 软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同密度对株高和茎粗的影响

试验调查了合玉 29 在 3 个环境×3 个密度下株高动态趋势。株高在拔节期(V6)后快速增加,灌浆期(R2)或乳熟期(R3)达到整个生育期的最大值,乳熟期(R3)到完熟期(R6)缓慢降低。2018 和 2019 年合玉 29 在齐齐哈尔地区 R3 时期

中密度(M2)栽培条件下株高较 低密度(M1)分别增加 5.00%和 4.01%,高密度(M3)栽培条件下较 M1 增加 5.77%和 3.93%;绥化地区 R3 时期 M2 栽培条件下株高较 M1 增加 6.50%和 9.44%,M3 栽培条件下较 M1 增加 8.84%和 8.72%;佳木斯地区 R3 时期 M2 栽培条件下株高较 M1 增加 6.00%和 0.01%,M3 栽培条件下较 M1 增加 6.37%、和 2.73%。株高在绥化地区表现出更高的变异趋势。

表 1 不同密度对株高和茎粗的影响

Table 1		Effect of different densities on maize plant high and stem diameter									(cm)
性状 Characters	年份 Year	生育期 Growth period	齐齐哈尔 Qiqihar			绥化 Suihua			佳木斯 Jiamusi		
			M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
株高 Plant height	2018	V3	15.52 f	15.50 g	15.37 h	15.63 e	15.73 d	15.03 i	17.50 c	18.83 b	19.60 a
		V6	44.24 g	46.13 f	46.25 e	55.23 a	47.47 b	43.33 h	47.10 d	47.47 b	47.20 c
		VT	261.67 g	262.67 f	264.33 c	259.00 i	264.15 d	266.33 b	261.00 h	263.67 e	278.33 a
		R2	265.67 g	263.67 h	266.66 f	256.00 i	268.00 e	274.66 b	271.00 d	273.67 c	279.00 a
		R3	260.00 g	273.00 e	275.01 d	256.33 h	273.00 e	279.00 a	261.00 f	276.67 c	277.62 b
		R5	243.18 i	246.67 g	256.21 f	244.58 h	267.00 d	273.33 c	262.00 e	274.00 b	275.67 a
		R6	240.56 h	243.38 g	251.30 f	240.41 i	257.00 d	260.00 c	256.80 e	267.66 b	277.67 a
	2019	V3	16.30 d	17.50 b	17.80 a	9.12 i	9.78 g	9.65 h	13.47 f	13.49 e	17.35 c
		V6	64.00 b	69.33 a	64.00 b	47.21 e	48.65 c	47.48 d	38.50 f	31.44 h	32.08 g
		VT	253.40 f	261.20 e	263.40 d	270.00 c	276.67 b	287.67 a	241.20 i	243.30 h	252.20 g
		R2	256.33 f	262.67 e	266.33 d	283.33 c	291.33 b	292.67 a	251.60 i	254.80 h	254.99 g
		R3	254.30 i	264.50 e	264.30 f	275.33 c	301.33 a	299.33 b	264.20 h	264.22 g	271.40 d
		R5	245.60 i	253.40 h	255.60 f	278.44 c	295.46 b	299.02 a	253.80 g	256.40 e	256.60 d
		R6	243.50 i	250.40 h	253.50 g	280.00 c	285.14 b	285.66 a	258.40 f	260.00 e	260.40 d
茎粗 Stem diameter	2018	V6	2.09 c	2.66 a	2.19 b	1.30 h	1.33 g	1.20 i	1.67 d	1.63 e	1.60 f
		VT	3.12 c	2.69 f	2.64 g	2.90 d	2.77 e	2.77 e	3.40 a	3.20 b	3.20 b
		R2	3.14 c	2.77 h	2.51 i	2.97 e	2.82 f	2.80 g	3.43 a	3.23 b	3.03 d
		R3	3.21 c	2.94 f	3.06 d	2.96 e	2.94 f	2.83 g	3.53 a	3.40 b	3.06 d
		R5	2.44 g	2.43 h	2.36 i	2.87 d	2.81 e	2.77 f	3.30 a	3.07 b	3.03 c
		R6	2.26 e	2.02 f	1.94 g	2.70 a	2.60 d	2.60 d	2.63 c	2.67 b	2.60 d
	2019	V6	1.48 b	1.48 b	2.31 a	1.20 e	1.18 f	1.21 d	1.28 c	1.06 h	1.10 g
		VT	3.12 d	3.12 d	2.49 f	2.77 e	2.37 g	2.27 h	3.56 a	3.44 b	3.24 c
		R2	3.35 a	3.33 b	2.55 f	2.80 e	2.55 f	2.50 g	3.16 c	3.02 d	2.80 e
		R3	3.12 a	3.10 b	2.62 g	2.83 f	2.54 i	2.55 h	3.05 c	3.04 d	3.00 e
		R5	2.86 a	2.76 c	2.62 d	2.77 b	2.43 e	2.35 f	2.62 d	2.18 g	2.10 h
		R6	2.21 g	2.01 i	2.06 h	2.60 c	2.36 e	2.23 f	2.72 a	2.62 b	2.40 d

注:不同小写字母代表不同密度处理差异显著(P<0.05),下同。
Note:Different lowercase indicate significant difference(P<0.05)between different density treatments,the same below.

茎粗在 V6 后快速增加,R2~R3 达到最大值,R5 到 R6 缓慢降低。在 M3 栽培条件下 R3 到 R6 茎粗较 M1 降低加快。2018 和 2019 年合玉 29 在齐齐哈尔地区 R3 时期 M2 栽培条件下茎粗较 M1 分别降低 8.41%和 0.64%,M3 栽培条件下较 M1 降低 4.67%和 16.03%;绥化地区 R3 时期中 M2 栽培条件下茎粗较 M1 降低 0.68%和 10.25%,M3 栽培条件下较 M1 降低 4.39%和

9.89%;佳木斯地区 R3 时期 M2 栽培条件下茎粗较 M1 降低 3.68%和 0.33%,M3 栽培条件下较 M1 降低 13.31%和 1.64%。茎粗在齐齐哈尔地区表现出更高的变异趋势。

2.2 不同密度对叶面积和叶面积指数的影响
在不同种植密度下,合玉 29 最大展开叶叶面积和叶面积指数(LAI)在 V6 后快速增加,VT~R5 趋于稳定,R6 迅速降低。不同种植密度间合

表 2 不同密度下最大展开叶叶面积和叶面积指数的影响
Table 2 Effect of different densities on maize MULA and LAI

性状 Characters	年份 Year	生育期 Growth period	齐齐哈尔 Qiqihar			绥化 Suihua			佳木斯 Jiamusi		
			M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
最大展开 叶叶面积 MULA/cm ²	2018	V3	16.20 d	17.57 c	18.10 a	13.92 h	15.19 e	14.00 g	14.15 f	12.44 i	17.83 b
		V6	476.64 c	562.79 a	527.98 b	160.00 e	161.60 d	126.50 f	109.25 g	97.19 i	101.87 h
		VT	1076.52 d	995.73 f	1035.02 e	1364.67 c	1456.67 a	1445.00 b	784.54 g	783.95 h	771.94 i
		R2	1001.21 f	1009.23 d	1002.32 e	1346.67 c	1450.67 a	1442.00 b	785.67 h	789.61 g	780.21 i
		R3	1174.33 b	1142.21 d	1120.17 e	1100.00 f	1232.00 a	1168.33 c	734.55 i	837.10 g	795.5 h
		R5	1136.50 e	1138.91 d	1108.27 f	1155.00 c	1180.67 a	1165.33 b	790.52 i	803.69 h	849.41 g
		R6	648.13 f	592.30 i	652.10 e	1030.33 b	1121.67 a	956.67 c	619.45 g	659.18 d	617.43 e
	2019	V3	16.50 c	16.80 b	16.8 b	14.28 f	16.34 d	15.78 e	14.15 g	12.44 h	17.83 a
		V6	142.60 f	165.30 a	162.30 b	159.49 c	143.79 e	147.82 d	85.71 g	66.96 h	62.64 i
		VT	901.57 e	951.93 c	728.53 i	898.56 f	839.62 g	820.69 h	985.37 a	953.88 b	914.87 i
		R2	821.83 f	873.60 b	817.89 h	887.00 a	841.25 e	811.25 i	844.13 d	854.57 c	821.81 g
		R3	854.12 d	798.45 g	852.45 e	794.50 i	855.25 c	797.38 h	886.86 a	837.56 f	863.57 b
		R5	878.21 b	762.47 h	943.03 a	853.75 d	836.63 e	822.25 f	807.38 g	683.76 i	867.83 c
		R6	864.30 b	775.30 f	876.30 a	832.00 e	834.38 d	849.75 c	707.73 h	697.10 i	761.58 g
叶面积 指数 LAI	2018	V3	0.15 c	0.15 c	0.20 a	0.13 e	0.14 d	0.17 b	0.09 f	0.13 e	0.20 a
		V6	0.85 c	1.25 b	1.31 a	0.14 g	0.16 f	0.20 d	0.13 h	0.16 d	0.18 e
		VT	4.53 c	4.57 b	4.78 a	3.01 h	3.49 g	3.55 f	2.78 i	3.85 e	3.96 a
		R2	4.46 b	4.35 c	4.58 a	2.98 h	3.47 g	3.63 f	2.87 i	3.85 e	3.96 d
		R3	4.31 c	4.32 b	4.53 a	2.58 h	3.14 g	3.19 f	2.23 i	3.74 e	3.95 d
		R5	4.30 b	4.22 c	4.42 a	2.24 i	2.97 g	3.04 f	2.70 h	3.47 e	4.14 d
		R6	0.91 i	0.97 g	1.24 f	1.48 e	1.69 d	2.03 b	0.94 h	1.87 c	2.08 a
	2019	V3	0.13 e	0.15 c	0.12 f	0.13 e	0.14 d	0.18 b	0.12 f	0.13 e	0.19 a
		V6	0.35 a	0.30 b	0.25 c	0.14 h	0.15 g	0.19 d	0.14 h	0.17 e	0.16 f
		VT	4.06 e	4.28 d	3.28 f	2.88 h	2.78 i	3.24 g	4.50 c	4.58 b	4.78 a
		R2	3.70 b	3.93 c	3.68 a	2.87 h	2.78 g	3.36 f	4.47 i	4.82 e	5.03 d
		R3	3.75 e	3.65 d	3.70 f	2.54 h	2.80 i	3.18 g	4.69 c	5.14 b	5.65 a
		R5	3.95 b	3.43 d	4.24 a	2.66 g	2.58 h	3.24 e	3.23 f	3.62 c	4.24 a
		R6	1.14 i	1.43 g	1.34 h	1.68 e	1.65 f	2.05 d	2.10 c	3.28 b	3.89 a

玉 29 的最大展开叶叶面积及叶面积指数均表现出显著差异。2018 和 2019 年合玉 29 在齐齐哈尔地区 R3 时期 M2 栽培条件下 LAI 较 M1 分别增加 0.23% 和 -2.67%，M3 栽培条件下较 M1 增加 5.10% 和 -1.33%；绥化地区 R3 时期 M2 栽培条件下 LAI 较 M1 增加 21.71% 和 10.24%，M3 栽培条件下较 M1 增加 23.64% 和 25.20%；佳木斯地区 R3 时期 M2 栽培条件下 LAI 较 M1 增加 67.71% 和 9.59%，M3 栽培条件下较 M1 增加 77.13% 和 20.47%，增加密度能有效增加

LAI。LAI 在佳木斯地区表现出更高的变异趋势。

2.3 不同密度对叶片和茎秆干物质的影响

合玉 29 单株干物质质量在不同密度下增长规律相同，出苗至拔节期干物质增长缓慢，拔节至抽雄期增长迅速，蜡熟期后积累缓慢。从不同密度来看，单株干物质积累量随着密度的增加而降低。2018 和 2019 年合玉 29 在齐齐哈尔地区 R3 时期 M2 栽培条件下叶片干物质较 M1 分别降低 9.36% 和 0.09%，M3 栽培条件下较 M1 降低 10.67% 和

表 3 不同密度下叶片和茎秆干物质变化
Table 3 Effect of different densities on maize LDW and SDW

性状 Characters	年份 Year	生育期 Growth period	齐齐哈尔 Qiqihar			绥化 Suihua			佳木斯 Jiamusi		
			M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
叶片干 物质 LDW	2018	V3	1.47 b	1.23 c	1.53 a	0.18 e	0.11 g	0.15 f	1.18 d	0.11 g	0.15 f
		V6	12.46 c	15.50 a	13.81 b	1.57 e	1.46 f	1.33 g	6.24 d	1.46 f	1.33 b
		VT	72.44 a	63.45 b	62.52 c	58.67 e	52.33 g	61.33 d	56.00 f	52.33 g	61.33 d
		R2	69.50 c	69.80 b	66.78 f	62.88 g	67.42 e	70.43 a	68.00 d	67.42 e	70.43 a
		R3	83.10 a	75.32 e	74.23 g	80.00 c	77.67 d	74.33 f	82.00 b	77.67 d	72.33 h
		R5	79.67 a	76.83 c	75.32 d	71.00 f	68.33 g	72.33 e	78.00 b	68.33 g	72.33 e
	2019	R6	36.61 g	38.22 e	37.24 f	70.33 c	63.67 d	71.00 b	78.00 a	63.67 d	71.00 b
		V3	1.25 a	1.03 c	1.21 b	0.14 g	0.15 f	0.16 e	0.72 d	0.15 f	0.16 e
		V6	23.97 a	14.60 c	23.90 b	1.37 e	1.37 e	1.35 f	4.60 d	1.37 e	1.35 f
		VT	70.73 c	59.60 d	72.50 b	56.70 e	50.00 f	43.30 g	93.00 a	50.00 f	43.30 g
		R2	71.83 c	67.20 d	73.57 b	56.70 e	56.70 e	56.70 e	90.00 a	56.7 e	56.70 e
		R3	75.07 b	75.00 c	74.60 d	69.82 e	66.70 f	65.47 g	92.00 a	66.7 f	65.47 g
茎秆干物 质 SDW	2018	R5	74.50 c	46.50 g	76.50 b	65.43 d	60.52 f	64.23 e	90.00 a	60.52 f	64.23 e
		R6	50.23 b	31.10 g	39.83 f	41.00 e	50.00 c	43.30 d	90.00 a	50.00 c	43.30 d
		V6	0.88 c	0.95 a	0.91 b	0.75 e	0.73 f	0.79 d	0.24 g	0.23 h	0.23 h
		VT	95.89 a	76.43 c	70.09 e	78.00 b	74.67 d	69.33 f	44.00 g	44.00 g	40.00 h
		R2	97.37 a	77.73 d	69.83 e	80.45 b	78.82 c	68.78 f	48.00 g	46.00 h	44.00 i
		R3	121.02 a	99.68 b	72.42 f	90.67 c	83.00 d	81.00 e	56.00 g	54.00 h	54.00 h
	2019	R5	105.03 a	99.10 b	67.15 h	95.67 c	85.00 e	86.00 d	86.00 d	84.00 f	78.00 g
		R6	127.74 a	89.46 g	59.38 i	103.00 b	94.00 d	93.33 e	96.00 c	92.00 f	88.00 h
		V6	0.84 c	0.89 b	0.97 a	0.75 f	0.76 e	0.80 d	0.68 g	0.66 h	0.63 i
		VT	99.47 b	100.73 a	98.63 c	66.70 g	56.70 h	54.42 i	83.00 d	80.00 e	67.00 f
		R2	96.93 b	89.90 d	109.73 a	90.00 c	76.70 g	76.70 g	86.00 e	82.00 f	60.00 h
		R3	97.50 c	91.20 e	90.50 f	133.30 a	106.00 b	93.30 d	84.00 g	76.00 h	76.00 h
		R5	98.00 d	94.50 f	99.50 c	112.48 a	108.56 b	96.36 e	98.00 d	94.00 g	90.00 h
		R6	99.80 d	99.80 d	90.07 h	100.00 c	99.00 e	96.70 g	120.00 a	106.00 b	98.00 f

和 0.63%;绥化地区 R3 时期 M2 栽培条件下叶片干物质较 M1 降低 2.91%和 4.47%,M3 栽培条件下较 M1 降低 7.09%和 6.23%;佳木斯地区 R3 时期 M2 栽培条件下叶片干物质较 M1 降低 5.28%和 27.5%,M3 栽培条件下较 M1 降低 11.79%和 28.84%。叶片干物质在佳木斯地区表现出更高的变异趋势。

2018 和 2019 年合玉 29 在齐齐哈尔地区 R3 时期 M2 栽培条件下茎秆干物质较 M1 分别降低 17.63%和 6.46%,M3 栽培条件下较 M1 降低 40.16%和 7.18%;绥化地区 R3 时期 M2 栽培条件下茎秆干物质较 M1 降低 8.46%和 20.48%,M3 栽培条件下较 M1 降低 10.67%和 30.01%;

佳木斯地区 R3 时期 M2 栽培条件下茎秆干物质较 M1 降低 3.57%和 9.52%,M3 栽培条件下较 M1 降低 3.57%和 9.52%。茎秆干物质在齐齐哈尔地区和绥化地区均表现出较高的变异趋势。

2.4 不同密度对产量性状的影响

通过表 4 可以看出,穗行数不受密度影响;穗长、穗粗、行粒数、穗粒数、百粒重均随着种植密度增加而降低。合玉 29 在 2018 和 2019 年在佳木斯和绥化由 M1 升到 M2 条件下产量增加,由 M2 升到 M3 条件下产量降低,在齐齐哈尔 2018 年产量随着密度增加而增加,但整体产量偏低,2019 年 M2 较 M1 条件下产量降低,在 M3 条件下产量又有所增加。

表 4 2018 和 2019 年不同密度下产量性状变化

Table 4 Effect of different densities on yield characters in 2018 and 2019

年份 Year	地区 Region	密度 Density	穗长 Ear length/ cm	穗粗 Ear diameter/ cm	秃尖长 Bare tip length/cm	穗行数 Row number per ear	行粒数 Grain number per row	穗粒数 Grain number per ear	百粒重 100 grain weight/g	产量 Yield/ (kg·hm ²)
2018	齐齐哈尔	M1	21.50	6.10	2.40	16.20	38.50	634.00	33.83	8104.40
		M2	19.97	5.50	2.60	16.00	38.10	605.33	32.96	8278.30
		M3	19.97	4.80	2.64	16.10	38.00	602.67	32.80	8853.90
	绥化	M1	21.67	4.93	0.17	16.00	49.00	747.67	35.33	13162.50
		M2	21.50	4.90	0.67	16.00	44.00	692.00	34.90	14450.00
		M3	20.00	4.60	1.17	16.70	38.00	613.33	30.95	10940.00
	佳木斯	M1	21.70	5.60	1.00	17.30	39.00	674.70	41.57	13088.10
		M2	21.50	5.60	1.50	17.30	39.00	664.70	41.43	13577.90
		M3	18.30	5.50	1.70	17.30	36.00	622.80	38.66	13127.90
2019	齐齐哈尔	M1	21.30	4.73	0.67	16.00	46.00	734.00	40.17	12181.43
		M2	21.20	4.67	1.67	16.00	42.00	714.00	39.97	11080.73
		M3	21.16	4.33	1.00	16.00	41.67	704.20	36.60	12815.02
	绥化	M1	21.54	5.05	1.04	16.00	45.30	680.30	34.60	11568.90
		M2	21.46	4.86	1.56	16.00	44.30	672.30	34.50	12485.00
		M3	20.56	4.80	1.73	14.70	42.70	660.70	30.20	11987.30
	佳木斯	M1	19.60	5.40	1.20	18.00	36.00	648.00	32.63	12078.10
		M2	19.50	5.40	1.70	18.00	34.00	612.00	31.46	12587.30
		M3	16.40	5.30	2.10	18.00	33.00	594.00	31.53	12137.30

2.5 不同密度对生育期的影响

通过表 5 可以看出,在不同播种密度下蜡熟期(R5)之前生育期较为一致,成熟期(R6)则表现出明显差异。随着种植密度增加,表现出蜡熟期和成熟期推后的现象。2019 年≥10℃的积温为 2 717℃,终霜期 4 月 27 日,初霜 10 月 5 日,无霜

期 162 d。2019 年作物生育期与 2018 年同期相比温度偏低,整个生育期降水过多,5 月上旬温度较 2018 年略低且降水偏少影响出苗造成出苗期延后;6 月低温多雨对玉米苗期生长不利,7 月气温略高、降雨特别多、日照正常,降雨过多对玉米生长不利生育期普遍拖后 7 d 以上;8 月气温偏

低、降水特别多、日照略少,低温寡照的气象条件
为主,降雨日数 20 d,对玉米生殖生长极为不利。

9 月气温偏高、上旬降水特别多,造成玉米生育期
推迟。

表 5 2018 和 2019 年不同密度下生育期变化 (月-日)

Table 5 Change of growth period under different densities in 2018 and 2019 (month-day)

年份 Year	地区 Region	密度 Density	播种 Planting	苗期 V3	拔节期 V6	大喇叭口 V12	抽雄期 VT	开花期 R1	灌浆期 R2	乳熟期 R3	蜡熟期 R5	成熟期 R6
2018	齐齐哈尔	M1	05-03	05-22	06-02	06-23	07-15	07-18	07-21	08-02	08-22	09-22
		M2	05-03	05-22	06-03	06-24	07-17	07-19	07-22	08-04	08-24	09-26
		M3	05-03	05-22	06-03	06-24	07-18	07-21	07-24	08-05	08-24	09-27
	绥化	M1	05-03	05-21	06-05	06-25	07-21	07-21	07-24	08-06	08-23	10-01
		M2	05-03	05-21	06-05	06-24	07-21	07-21	07-24	08-06	08-23	10-01
		M3	05-03	05-21	06-05	06-25	07-21	07-21	07-24	08-06	08-24	10-2
	佳木斯	M1	05-03	05-21	06-02	06-22	07-17	07-17	07-20	08-01	08-17	09-29
		M2	05-03	05-21	06-02	06-22	07-17	07-17	07-20	08-01	08-17	09-29
		M3	05-03	05-21	06-02	06-21	07-17	07-17	07-20	08-01	08-18	09-30
2019	齐齐哈尔	M1	05-03	05-24	06-09	06-28	07-20	07-22	07-28	08-10	08-28	09-30
		M2	05-03	05-24	06-09	06-28	07-20	07-22	07-28	08-10	08-28	09-30
		M3	05-03	05-24	06-09	06-29	07-21	07-22	07-29	08-10	08-29	09-31
	绥化	M1	05-03	05-26	06-12	07-02	07-21	07-23	07-30	08-13	08-29	10-01
		M2	05-03	05-26	06-12	07-02	07-22	07-24	07-30	08-14	08-30	10-01
		M3	05-03	05-26	06-12	07-02	07-22	07-24	07-31	08-14	08-30	10-02
	佳木斯	M1	05-03	05-25	06-09	06-29	07-24	07-29	08-01	08-25	09-19	10-03
		M2	05-03	05-25	06-09	06-29	07-24	07-29	08-01	08-25	09-19	10-03
		M3	05-03	05-25	06-09	06-30	07-24	07-29	08-01	08-25	09-20	10-05

3 结论与讨论

3.1 讨论

研究发现,株高随着密度的增加而增加,茎粗降低^[3-4],本研究表明,合玉 29 株高、茎粗对种植密度变化的响应表现为,在偏低密度下株高较低,茎粗较粗;随着密度增加,株高逐渐缓慢增加,茎粗缓慢降低。株高与茎粗又是表征玉米抗倒性的重要性状^[5],当密度增加到一定程度时,倒伏成为潜在危害,绥化地区更应采用适当密度种植。

合玉 29 在高密度下玉米单株间竞争激烈,加之通风条件不好,会加剧玉米叶片衰老,降低净光合速率,缩短花后功能叶的光合期。在不同种植密度下,合玉 29 最大展开叶叶面积在拔节期后快速增加,抽雄期后趋于稳定,蜡熟期后迅速降低。最大展开叶叶面积随种植密度的增加呈下降趋势^[6]。说明当群体密度过大时,将明显降低品种的最大展开叶叶面积。不利的生长年份会使最大展开叶叶面积持续期延后及加快后期衰退。

随着种植密度的增加,植株叶面积减小,而群体的总光合面积增加^[7],提高叶片 LAI 值,促进光合作用^[8],进而提高干物质的积累与增加产量^[9-10]。不同密度处理的合玉 29 群体叶面积发展动态趋势相同,LAI 在拔节期后快速增加,灌浆期达到最大值,拔节期到蜡熟期趋于稳定,蜡熟期后快速降低。这是因为玉米拔节后新叶迅速长出,抽雄开花期后,叶片全部展出,田间覆盖率达最大值^[11]。合玉 29 的 LAI 随着密度增加而增大,并且不同密度之间呈显著差异。高密度处理群体,灌浆期后叶面积指数衰减快于低密度处理,低密度处理群体叶面积发展始终偏少,从而影响群体生产力。绥化和佳木斯地区增加密度能有效增加 LAI。

穗长、穗粗和行粒数会随密度的增大而下降,而秃尖长增加^[12-14]。合玉 29 随着种植密度的增加秃尖长、生育日数呈现增加趋势,而穗长、穗粗与种植密度呈负相关,与前人研究结果一致。玉

米品种产量性状对产量环境变化的响应存在明显差异,产量环境是该品种种植密度高低的决定性因素^[1]。从黑龙江省东部到西部降水逐渐减少,对玉米品种种植密度产生影响。2018 年在密度不同的条件下,绥化和佳木斯合玉 29 产量随种植密度的增加呈现先增加后降低的趋势,当达到 M2 密度时,产量达到最大值;齐齐哈尔在 M3 密度时,产量达到最大值。所以根据本次试验可以得出,合玉 29 玉米品种的产量在黑龙江省东中部地区种植密度以 6.75 万株·hm² 为宜,在黑龙江省西部地区应谨慎种植。

3.2 结论

合玉 29 在绥化和佳木斯种植密度 6.75 万株·hm² 条件下达到最大值,在齐齐哈尔种植密度 7.5 万株·hm² 条件下达到最大值。综合 2 年试验结果表明在黑龙江省东中部地区种植密度 6.75 万株·hm² 能够达到群体和个体的产量性状相对较为协调,黑龙江省西部地区可以适当增加种植密度。

参考文献:

- [1] 马兴林,徐安波,杨久臣,等.关于玉米种植密度的思考与讨论[J].玉米科学,2020,28(2):96-99.
- [2] 王玉,赵财,樊志龙,等.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[J].中国生态农业学报,2020(5):652-661.
- [3] 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.
- [4] 黄忠阳,陈舜权,胡俏强,等.种植密度对超甜玉米晶甜 18

- 主要农艺性状及产量的影响[J].江苏农业科学,2014,42(12):106-107.
- [5] 董学会,段留生,孟繁林,等.30%己·乙水剂对玉米产量和茎秆质量的影响[J].玉米科学,2006,14(1):138-140.
- [6] 石运强,景玉良,于海林,等.春玉米品种绥玉 23 适宜栽培密度研究[J].农业科技通讯,2019(3):133-135.
- [7] 韩春杰.种植密度对玉米产量和品质的影响[J].乡村科技,2019(11):98-99.
- [8] 于宁宁,张吉旺,任佰朝,等.综合农艺管理对夏玉米叶片生长发育及内源激素含量的影响[J].作物学报,2020,46(6):960-967.
- [9] Gitelson A, Peng Y, Arkebauer T, et al. Relationships between gross primary production, green LAI, and canopy chlorophyll content in maize: Implications for remote sensing of primary production[J]. Remote Sensing of Environment, 2014, 144: 65-72.
- [10] Sade N, Umnajkitikorn K, Rubio M, et al. Delaying chloroplast turnover increases water deficit stress tolerance through the enhancement of nitrogen assimilation in rice[J]. Journal of Experimental Botany, 2017, 69: 867-878.
- [11] 王珍,武志海,徐克章.玉米群体冠层光合速率与叶面积指数关系的初步研究[J].吉林农业大学学报,2001(2):12-16.
- [12] 王慧,潘玲玲,孙大鹏,等.不同种植密度对超甜玉米产量及相关性状的影响[J].上海农业学报,2015,31(2):98-101.
- [13] 贺国因,韦桂旺,冯云敢,等.种植密度对超甜玉米新品种主要农艺性状和产量的影响[J].西南农业学报,2019(32):2521-2529.
- [14] 龙兴洲,李国强,路小芳,等.不同种植密度对玉米邢玉 11 号产量及产量性状的影响[J].农业科技通讯,2018(11):38-41.

Effects of Environment and Density Interaction on Agronomic Characters and Yield of Heyu 29

NIU Zhong-lin, JIN Xiao-chun, JIANG Bai-fu, QIU Lei, WU Li-li, LI Ru-lai, GAO Hong-tao

(Jiamusi Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Jiamusi 154007, China)

Abstract: The maize variety Heyu 29 (2017014) which was bred by Jiamusi Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences has the characteristics of high yield (increased 6.09% compared with the control), stable yield, lodging resistance, and less incidence of leaf diseases. The suitable production environment of Heyu 29 can provide support for the increase yield in maize production and the income of the people in Heilongjiang province. In this study, the effect of different planting densities and places on agronomic characters and yield characters of Heyu 29 was studied. The result showed that with the increase of planting density, the agronomic traits and yield traits of Heyu 29 changed, the stem diameter, maximum unfolded leaf area became smaller, and the leaf area index (LAI), plant height increased; the dry matter accumulation of a single plant decreased, but the dry matter accumulation increased of the population; the highest yield was gaining under the density of 67 500 plants·hm² in east and middle region and 75 000 plants·hm² in west region of Heilongjiang province.

Keywords: maize; planting densities; agronomic characters; yield