

不同年代玉米品种穗部性状对种植密度的响应

张宇星^{1,2}, 杨致远^{2,3}, 张丰屹^{2,4}, 李一^{2,5}, 赵鑫哲², 唐娟², 史磊⁶, 刘晶⁶, 赵海岩⁶,
李明顺², 张德贵², 李新海², 雍洪军², 金峰¹

(¹吉林农业大学农学院, 长春 130118; ²中国农业科学院作物科学研究所/作物分子育种国家工程实验室, 北京 100081; ³河西学院, 甘肃张掖 734000; ⁴黑龙江省农业科学院大豆研究所, 哈尔滨 150086; ⁵承德市农林科学院, 河北承德 067000; ⁶辽宁省农业科学院玉米研究所, 沈阳 110161)

摘要: 以我国20世纪80年代以来4个不同时期大面积推广的玉米杂交种为材料, 探究不同年代玉米杂交种穗部性状的变化特征及对种植密度的响应, 为耐密品种选育提供参考依据。本研究选取1980s–2010s推广面积较大的12个玉米杂交种, 采用裂区试验设计, 设置6万株/hm²和12万株/hm²两个种植密度, 4行区, 3次重复, 2017–2018年在辽宁省沈阳市和吉林省公主岭市进行鉴定, 收获后调查穗长、穗粗、秃尖长、穗行数、行粒数、百粒重等穗部性状。结果表明, 不同年代玉米品种的穗行数、行粒数和百粒重差异均达到极显著水平; 随着年代更替, 在不同种植密度下穗粗、秃尖长和百粒重均下降, 穗长、穗行数和行粒数未发生显著变化。其中, 秃尖长变化尤为显著, 1980s–2010s期间平均每10年降幅0.24 cm(高种植密度)、0.19 cm(低种植密度)。随着种植密度增加, 相同年代杂交种果穗均变短、穗变细、秃尖变长、行粒数减少, 其中2000s新品种的穗长和2010s新品种的穗粗降幅最小, 2010s新品种的秃尖增幅最小(1.04%), 表明2000s后选育的玉米品种更耐密。在未来玉米耐密育种过程中, 应在维持较高百粒重的同时, 加强穗长、穗粗、秃尖等性状的协同改良, 以达到增产的目的。

关键词: 年代; 玉米杂交种; 穗部性状; 变化趋势

Response of Ear Traits of Maize Varieties from Different Eras to Planting Density

ZHANG Yu-xing^{1,2}, YANG Zhi-yuan^{2,3}, ZHANG Feng-yi^{2,4}, LI Yi^{2,5}, ZHAO Xin-zhe², TANG Juan², SHI Lei⁶,
LIU Jing⁶, ZHAO Hai-yan⁶, LI Ming-shun², ZHANG Dei-gui², LI Xin-hai², YONG Hong-jun², JIN Feng¹

(¹Faculty of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun 130118; ²Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences/National Engineering Laboratory for Crop Molecular Breeding, Beijing 100081; ³Hexi University, Zhangye 734000, Gansu; ⁴Institute of Soybean, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086; ⁵Chengde Academy of Agricultural and Forestry Science, Chengde 067000, Hebei; ⁶Maize Research Institute, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161)

Abstract: In order to provide the basis for the genetic improvement of density-tolerant varieties, the characteristics of ear traits were investigated in maize hybrids under different planting density conditions. Twelve maize hybrids that were popularized in China from four different eras since the 1980s were used in this study. From 2017 to 2018, these hybrids were cultivated in Shenyang city, Liaoning province and Gongzhuling city, Jilin province, with the two planting densities of 60,000 plants/hm² and 120,000 plants/hm², using split plot experiment design (four row plots, three replicates each). Ear length, ear diameter, bald tip length, rows per

收稿日期: 2023-02-18 修回日期: 2023-02-23 网络出版日期: 2023-03-20

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20230218001>

第一作者研究方向为作物栽培学与耕作学, E-mail: zzygundam@163.com

通信作者: 雍洪军, 研究方向为玉米种质改良与创新, E-mail: yonghongjun@caas.cn

金峰, 研究方向为作物栽培与生理生态基础, E-mail: jinfeng911@126.com

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFD1200802); 国家玉米产业技术体系(CARS-02-02)

Foundation projects: National Key Research and Development Program of China (2022YFD1200802); The Earmarked Fund for China Agriculture Research System (CARS-02-02)

ear, kernels per row, and 100-kernel weight were investigated after harvest. These maize varieties showed extensively significant differences on rows per ear, kernels per row and 100-kernel weight. Ear diameter, bald tip length and 100-kernel weight decreased under different planting densities with the decades, while ear length, rows per ear, and kernels per row did not change significantly. The bald tip length was observed with especially significant difference, for example, with the average decrease of 0.24 cm (high planting density) and 0.19 cm (low planting density) every 10 years from 1980s to 2010s. Under higher planting density condition, shorter and thinner ear, longer bald tip and reduction on kernels per row were observed. New varieties released since 2000s became tolerant under higher planting density condition. For example, the ear length of 2000s new varieties and ear diameter of the 2010s new varieties decreased the least, while the bald tip increase of the 2010s new varieties was the least with the value of 1.04%. In the future breeding for new high-yield varieties that are applicable under higher plant density, it is necessary to synergistically improve the ear length, ear diameter and bald tip, without a reduction on higher 100-kernel weight.

Key words: era; maize hybrids; ear traits; trends

玉米是我国第一大作物,占全国粮食总量的近40%^[1]。随着我国人口增长和生活水平的提高,玉米需求量不断上升。我国的耕地面积有限,提高单位面积产量是解决玉米供给的重要途径^[2],也是玉米育种的重要目标^[3]。

玉米产量主要由有效穗数、穗行数、行粒数和百粒重等性状组成。一般而言,穗部性状与产量呈正相关关系^[4-5]。任洪雷等^[6]对74个玉米杂交种产量与主要农艺性状进行逐步回归分析和通径分析,结果表明百粒重、穗长和穗行数等是影响玉米产量的主要因素。同时,多位学者也研究了不同年代玉米品种穗部变化趋势。随着年份的增加,张泽民等^[7]研究发现河南省玉米品种的穗粗和穗行数改良效果明显。史新海等^[4]发现山东省1976-1995年期间中早熟玉米杂交种的公顷产量、千粒重等呈上升趋势,穗长呈下降趋势,而穗行数、穗粒数等无明显变化。谢振江等^[8]研究了70年代以来大面积推广的玉米杂交种产量与农艺性状的关系,表明最新品种的公顷粒数和千粒重显著增加,抗病性显著增强。张海燕等^[9]研究表明1950年以来大面积推广的玉米品种穗粒数和百粒重的提高是我国玉米品

种产量稳步提升的主要原因。范雅芳等^[10]对我国1970s-2000s玉米杂交种的品质性状和产量进行分析,认为容重与产量正相关。刘志铭等^[11]分析了吉林省1980s-2010s玉米品种性状表现,表明其产量的提高得益于穗粒数和单位面积穗数的增加。Echarte等^[12]分析阿根廷1965-1993年的玉米杂交种,结果表明新品种单穗粒重的增加是其产量增加的重要原因。关于我国不同年份主推玉米杂交种在不同种植密度下主要穗部性状变化规律鲜有报道。本研究选取1980s-2010s中国大面积推广的12个玉米杂交种,设置了两个试验密度(6万株/hm²和12万株/hm²),旨在探究不同年代玉米杂交种穗部性状的变化趋势以及不同种植密度下的选择响应,为以后玉米品种穗部性状改良提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以1980s-2010s中国主要玉米杂交种为试验材料(表1),包括中单2号、丹玉13、沈丹7号、农大108、四单19、掖单13、郑单958、浚单20、先玉335、DK516、德美亚3号、华美1号,共计12个玉米杂交种。

表1 12个杂交种的信息

Table 1 Information of 12 maize hybrids

年代 Era	杂交种名称 Hybrid name	亲本组合 Parent combination	育成单位 Breeding institution	育成年份 Breeding year
1980s	中单2号	Mo17×自330	中国农业科学院	1975
	丹玉13	Mo17×E28	丹东市农业科学院	1979
	沈单7号	沈5003×E28	沈阳市农业科学院	1982
1990s	农大108	X178×黄C	中国农业大学	1994
	四单19	444×Mo17	四平市农业科学院	1996
	掖单13	掖478×丹340	莱州市农业科学院	1998

表 1 (续)

年代 Era	杂交种名称 Hybrid name	亲本组合 Parent combination	育成单位 Breeding institution	育成年份 Breeding year
2000s	郑单 958	郑 58×昌 7-2	河南省农业科学院	1998
	浚单 20	9058×浚 92-8	浚县农业科学院	2003
	先玉 335	PH6WC×PH4CV	铁岭先锋种子研究有限公司	2004
2010s	DK516	D1798Z×B1189Z	中种迪卡种子有限公司	2011
	德美亚 3 号	9F592×6F576	德国 KWS 种子股份有限公司	2013
	华美 1 号	HF12202×HM12111	甘肃恒基种业有限责任公司	2016

1.2 试验方法

本试验于 2017 年、2018 年在吉林公主岭(43.50°N, 124.82°E)和辽宁沈阳(41.80°N, 123.38°E)进行两年两点试验。采用裂区试验设计,设置高种植密度(12 万株/hm²)和低种植密度(6 万株/hm²),4 行区,3 次重复,田间管理同大田。每个小区收获中间 2 行,从中随机选取 10 穗进行穗部性状考种,包括穗长、穗粗、穗行数、行粒数、秃尖长以及百粒重。

1.3 统计分析

采用 Microsoft Excel 2016 进行数据处理。采用 SPSS26.0 进行描述性统计和方差分析。为减少试验误差,利用 R 语言估算各小区表型性状在多环境下(年份×环境)的最优线性无偏估计值(BLUE, best liner unbiased estimates)^[13],用于比较表型性状的差异性。采用最小显著性差异法(LSD, least-significant different)比较均值间的差异显著性,计算不同年份玉米杂交种的变异系数,并用 Excel 进行制图。

2 结果与分析

2.1 不同年代玉米品种主要穗部性状特征

由表 2 可知,穗长在品种间和年代间差异均未达到显著水平,表明随着品种的更替,穗长的改良效果未见明显差异,故后续不再分析穗长变化趋势。穗行数、行粒数、百粒重等穗部性状品种间差异均达到极显著水平,而穗粗、秃尖长、穗行数和百粒重在不同年代间呈显著性差异,不同年代杂交种行粒数差异不显著,表明随年代品种更替行粒数未见明显变化。穗长、穗粗、秃尖长和行粒数在不同种植密度下差异达到极显著水平,穗长、穗粗、秃尖长、穗行数、行粒数和百粒重等穗部性状在不同环境间差异均达到极显著水平,只有百粒重在年代和种植密度互作上存在显著差异。除穗长外,其他穗部性状在年代与环境间互作上差异均未达到显著水平。穗长、穗行数、行粒数和百粒重等性状在环境与种植密度互作上差异达到显著或极显著水平。

表 2 不同年代玉米品种穗部性状方差分析

Table 2 ANOVA analysis on ear traits of different era varieties

差异来源 Source	自由度 df	穗长 Ear length	穗粗 Ear diameter	秃尖长 Bald tip length	穗行数 Rows per ear	行粒数 Kernels per row	百粒重 100-Kernel weight
品种 V	11	3.82	0.91	2.33	16.07**	42.54**	240.67**
年代 E	3	3.53	1.54**	6.59**	6.24*	20.14	607.40**
密度 D	1	160.14**	2.37**	7.69**	7.01	1072.58**	39.94
环境 L	3	630.71**	93.07**	114.46**	224.67**	536.10**	344.46**
年代×密度 E×D	3	1.53	0.20	0.95	0.79	5.16	39.71*
年代×环境 E×L	9	5.72**	0.20	0.66	1.37	6.08	20.49
环境×密度 L×D	3	6.74*	0.13	1.51	8.98**	24.72*	57.97**
年代×密度×环境 E×D×L	9	2.99	0.16	0.70	0.55	10.07	13.59

*和**分别表示在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平达到显著

*and ** mean significant difference at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively; V: Varieties; E: Era; D: Density; L: Location

对品种间差异显著的性状进行多重比较(表 3),低种植密度条件下穗行数介于 14.76~17.31

行,变异系数为 12.79%,其中掖单 13 穗行数最多(17.31 行),中单 2 号最少(14.76 行);行粒数在 33.76~

39.36粒,变异系数为9.41%,其中DK516的行粒数最多(39.36粒),德美亚3号的行粒数最少(33.76粒);百粒重在35.32~45.56 g,变异系数为12.37%,其中郑单958的百粒重最大(45.56 g),华美1号最小(35.32 g)。在高种植密度条件下,穗行数在14.07~16.75行,变异系数为14.30%,其中掖单13的穗行数最大(16.75行),中单2号最小(14.07行);行粒数在31.25~35.19粒,变异系数为12.43%,其中四

单19的行粒数最大(35.19粒),郑单958最小(31.25粒);百粒重在31.19~44.05 g,变异系数为12.37%,其中郑单958的百粒重最大(44.05 g),华美1号最小(31.19 g)。整体来看,不同种植密度下1990s杂交种掖单13的穗行数、2000s杂交种郑单958的百粒重表现最佳,而2010s杂交种DK516和1990s杂交种四单19的行粒数较多,1990s后选育的玉米品种穗部性状综合表现较好,受种植密度影响较小。

表3 不同种植密度条件下1980s-2010s玉米品种穗部性状比较

Table 3 Comparison of ear traits of maize varieties (1980s-2010s) under different planting densities

品种 Varieties	穗行数 Rows per ear		行粒数 Kernels per row		百粒重(g) 100-Kernel weight	
	低种植密度 Low planting density	高种植密度 High planting density	低种植密度 Low planting density	高种植密度 High planting density	低种植密度 Low planting density	高种植密度 High planting density
中单2号 Zhongdan2	14.76c	14.07d	35.29ef	34.55abc	40.47b	43.48a
丹玉13 Danyu13	15.77abc	16.10a	36.58bcde	32.18abcd	37.68bc	38.81bc
沈单7号 Shendan7	15.68bc	15.67abcd	39.14ab	35.11ab	38.12bc	37.19c
农大108 Nngda108	16.15abc	15.73abc	37.73abcde	31.85bcd	40.47b	36.87c
四单19 Sidan19	15.04bc	14.25bcd	38.12abcd	35.19a	40.28b	39.65b
掖单13 Yedan13	17.31a	16.75a	37.23abcde	33.65abcd	39.01b	39.66b
郑单958 Zhengdan958	15.71abc	15.59abcd	35.81def	31.25d	45.56a	44.05a
浚单20 Jundan20	16.49ab	15.84ab	36.22cdef	32.23abcd	39.77b	42.86a
先玉335 Xianyu335	16.47ab	16.44a	38.66abc	33.60abcd	44.61a	43.07a
DK516	15.26bc	15.45abcd	39.36a	34.78ab	39.10b	38.81bc
德美亚3号 Demeiya3	15.13bc	14.16cd	33.76f	32.37abcd	38.86b	34.27d
华美1号 Huamei1	16.35abc	16.69a	38.61abc	31.51cd	35.32c	31.19e
变异系数(%) CV	12.79	14.30	9.41	12.43	12.37	12.37

不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平显著差异;下同

Different letter indicate significant differences at $P < 0.05$; The same as below

2.2 不同年代玉米杂交种主要穗部性状变化

对年代间差异显著的性状进一步分析(图1),发现在低种植密度条件下随着年代更替,穗粗、穗行数和百粒重均呈先增加后降低的趋势,均在2000s达到最大值,2010s显著下降;秃尖长整体呈下降趋势,降幅较大,平均每10年降低0.19 cm。在高种植密度下,穗粗、穗行数和百粒重随着年代的更替呈先增加后降低的趋势,均在2000s达到最大值,2010s显著下降;秃尖长整体呈明显下降趋势,平均每10年降低0.24 cm。综合来看,不同年代杂交种穗粗、秃尖长和百粒重性状在高和低种植密度下均有下降趋势,穗行数在不同密度下变化趋势有差异,但秃尖长随品种更替变化更显著,表明品种秃尖改良效果明显。

2.3 同一年代玉米杂交种穗部性状对不同种植密度的变化响应

对密度间差异显著的性状进行比较(表4),除秃尖长外,不同年代杂交种在低种植密度环境的穗部性状数值普遍高于高种植密度环境,随着种植密度的增加,玉米杂交种均表现为穗长变短、穗粗变细、秃尖长变长、行粒数变少。其中,老品种(1980s-1990s)穗长分别降低9.82%、7.82%,穗粗分别降低3.32%、6.27%,秃尖长分别增加13.94%、9.11%,行粒数分别降低10.11%、8.64%;而新品种(2000s-2010s)穗长分别降低6.61%、10.09%,穗粗分别降低5.08%、3.24%,秃尖长分别增加37.72%、1.04%,行粒数分别降低12.30%、10.86%。综上所述,在高种植密度下2000s新品种穗长、2010s新品种穗粗的降

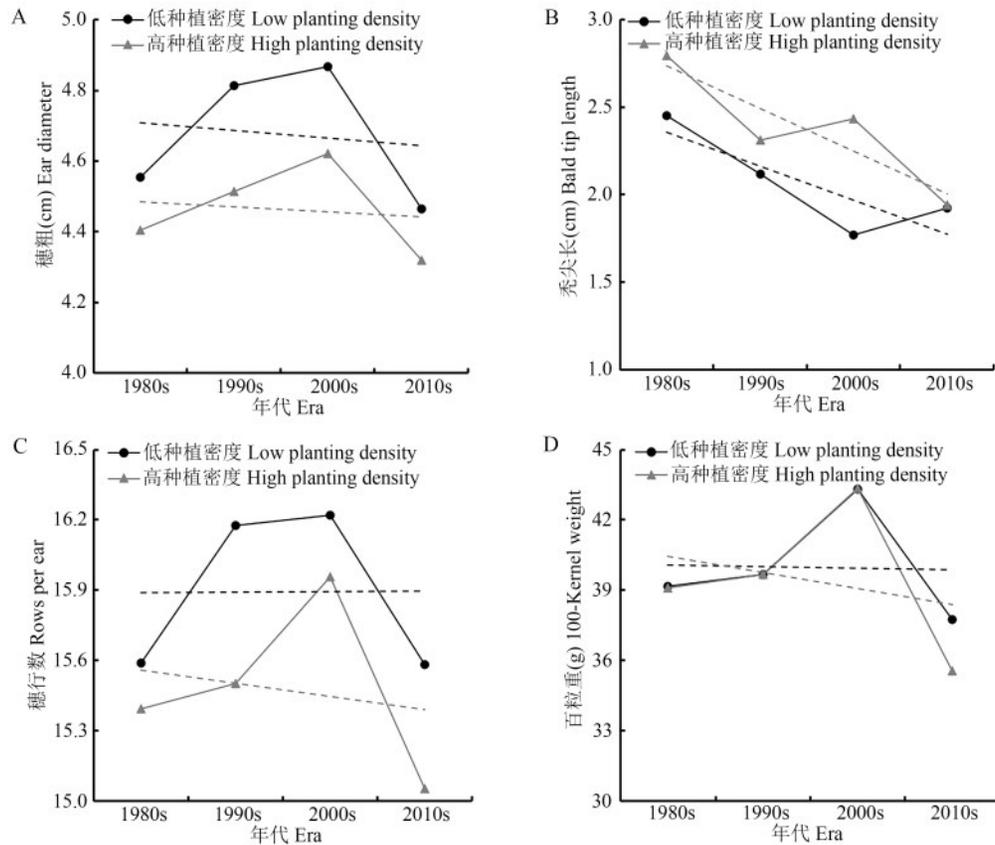


图1 不同年代玉米杂交种主要穗部性状的变化

Fig.1 Changes of ear traits of maize hybrids in different eras

幅及2010s新品种秃尖的增幅基本小于2000s以前的老品种,表明2000s后的新品种更加耐密。

表4 同一年代不同种植密度下玉米杂交种的穗部性状表现

Table 4 The performance of ear traits of maize hybrids of the same era in different planting density

性状	种植密度	1980s	1990s	2000s	2010s
Traits	Planting density				
穗长(cm) Ear length	低种植密度	18.31a	18.53a	17.87a	18.11a
	高种植密度	16.51a	17.08a	16.69a	16.28a
	降幅	1.80	1.45	1.18	1.83
	降幅百分比(%)	9.82	7.82	6.61	10.09
穗粗(cm) Ear diameter	低种植密度	4.55a	4.81a	4.87a	4.46a
	高种植密度	4.40a	4.51a	4.62a	4.32a
	降幅	0.15	0.30	0.25	0.14
	降幅百分比(%)	3.32	6.27	5.08	3.24
秃尖长(cm) Bald tip length	低种植密度	2.45a	2.12ab	1.77b	1.92ab
	高种植密度	2.80a	2.31ab	2.43ab	1.94b
	增幅	0.34	0.19	0.67	0.02
	增幅百分比(%)	13.94	9.11	37.72	1.04
行粒数 Kernels per row	低种植密度	37.19a	37.68a	36.90a	37.24a
	高种植密度	33.42a	34.42a	32.36a	33.20a
	降幅	3.76	3.26	4.54	4.04
	降幅百分比(%)	10.11	8.64	12.30	10.86

3 讨论

3.1 不同年代玉米品种穗部性状表现

单位面积穗数、穗粒数和百粒重等穗部性状是玉米产量重要的构成因子,穗粒数受穗长、穗粗、穗行数、行粒数共同影响。其中穗长是行粒数的主要影响因素,与穗粗和穗行数共同制约着穗粒数。研究表明行粒数对穗粒数的影响比穗行数大^[14-15]。崔文芳等^[16]研究也表明,穗部各性状对产量的作用最大的为行粒数,其次是百粒重,穗长直接影响行粒数的多少。此外,秃尖也是影响玉米产量的重要因素,秃尖严重,行粒数会减少^[17]。前人就不同品种穗部性状与产量之间的关系进行了广泛的研究^[8,18-19],结果表明穗长、穗粗、秃尖长、穗行数、行粒数、百粒重与产量密切相关,但是并未揭示不同年代主推玉米品种穗部性状的变化趋势及其对种植密度的响应特点。本研究选用穗长、穗粗、秃尖长、穗行数、行粒数和百粒重作为主要穗部性状,阐述了1980s-2010s我国主要玉米品种的穗部性状差异及对种植密度的响应。研究发现不同年代品种间的穗行数、行粒数和百粒重差异较大,不同种植密

度下 1990s 杂交种掖单 13 的穗行数最多, 2000s 杂交种郑单 958 的百粒重最大, 而 1990s 杂交种四单 19 号和 2010s 杂交种 DK516 的行粒数较多。这与前人研究结果相符, 陈传永等^[20]在不同种植密度下鉴定先玉 335、郑单 958 和吉单 209 等杂交种的产量表现, 也发现郑单 958 产量和百粒重相对较高; 李丛锋等^[21]比较了 1960s、1980s、2000s 3 个年代玉米品种产量表现, 表明 2000s 杂交种郑单 958 产量和百粒重显著高于 1960s–1980s 品种; 谢振江等^[17]研究也表明 1990s 后品种穗行数、行粒数和百粒重等穗部性状要优于 1990s 前的品种。总体来看, 1990s 后选育的玉米品种穗部性状表现更佳, 受种植密度影响较小。

3.2 不同年代玉米杂交种穗部性状演变特征

不同品种与密度的互作对产量影响有所差异^[21–24], 了解不同年代玉米杂交种在不同密度环境下变化特征对耐密玉米育种具有指导意义。在不同密度环境下, 随着年代更替, 1980s–2000s 杂交种穗粗、穗行数与百粒重均呈增加趋势, 与前人研究结果一致^[9, 11, 25], 但 2010s 急剧下降, 表明在 2000s 之前穗粗、穗行数和百粒重得到了有效改良, 2010s 杂交种穗部表现欠佳, 可能与本研究选用的试验材料有关, 其中德美亚 3 号和华美 1 号是东北及西北春玉米区适宜机械化高密植的杂交种, 与 2000s 高产杂交种(浚单 20、先玉 335 和郑单 958)相比, 在产量上差距较大。此外, 随着年代更替, 不同年代杂交种秃尖长逐渐下降, 这与阎晓光等^[26]的研究相吻合, 表明自 1980s 以来玉米秃尖性状改良效果显著。综上所述, 1980s–2000s 期间, 穗粗、秃尖长、穗行数与百粒重的改良效果显著, 秃尖长改良最为明显。

3.3 不同年代玉米杂交种穗部性状对种植密度的响应

合理密植是玉米高产稳产的有效途径^[27–30], 但增加种植密度对穗部性状影响较大。本研究发现提高种植密度, 不同年代玉米杂交种的穗长、穗粗及行粒数均有不同程度的降低, 秃尖长均增加, 与前人研究结果一致^[31–32]。卢庭启等^[31]研究表明增加种植密度, 穗长变短、穗粗变细、穗行数和行粒数减少。Zhang 等^[32]发现种植密度增加, 秃尖长会显著增加, 此外还发现新品种的穗长、穗粗和秃尖长受密度影响较小、更耐密。在高种植密度环境下, 维持穗数、穗粒数和百粒重的平衡是取得高产的关键^[33]。本研究发现百粒重在不同种植密度下

无显著性差异。因此, 在未来玉米育种过程中应发展耐密育种, 维持较高粒重的同时, 改良果穗的穗长、穗粗、秃尖长和行粒数等穗部性状, 进一步提高产量。

4 结论

1980s–2010s 期间玉米品种的穗行数、行粒数和百粒重差异达到极显著水平, 穗粗、秃尖长、穗行数和百粒重在年代间差异显著。随着年代更替, 秃尖长改良效果最显著, 穗粗、穗行数与百粒重也得到了有效改良。随着种植密度增加, 不同年代玉米杂交种果穗呈现穗变短、行粒数减少、穗变细, 秃尖变长的趋势。建议在未来玉米耐密品种改良中应在维持较高百粒重的同时, 加强穗长、穗粗、秃尖长、行粒数等性状的协同改良, 以达到增产目的。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 国家统计局关于 2022 年粮食产量数据的公告. (2022-12-12)[2023-4-3]. http://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202302/t20230203_1901673.html
National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. Announcement of the National Bureau of Statistics on grain production data in 2022. (2022-12-12)[2023-4-3]. http://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202302/t20230203_1901673.html
- [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. 北京: 中国农业大学, 2015
Zhou B Y. Study on the distribution and high efficient utilization of resources for double cropping system in the Huang-Huai-Hai plain. Beijing: China Agricultural University, 2015
- [3] Ku L X, Zhao W M, Zhang J, Wu L C, Wang C L, Wang P A, Zhang W Q, Chen Y H. Quantitative trait loci mapping of leaf angle and leaf orientation value in maize (*Zea mays* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 2010, 121(5):951-959
- [4] 史新海, 李可敬, 孙为森, 赵尧先, 王金皎, 李勇. 山东省不同年代玉米杂交种主要农艺性状演变规律的研究. *玉米科学*, 2000, 2:33-35, 42
Shi X H, Li K J, Sun W S, Zhao Y X, Wang J J, Li Y. Studies on development law for main agronomic characters of maize hybrid in different areas in Shandong province. *Journal of Maize Sciences*, 2000, 2:33-35, 42
- [5] 岳尧海, 周小辉, 任军. 夏玉米杂交种产量性状与产量的通径分析. *玉米科学*, 2006, 6:59-61
Yue Y H, Zhou X H, Ren J. Path analysis of yield and yield characteristics of summer maize hybrids. *Journal of Maize Sciences*, 2006, 6:59-61
- [6] 任洪雷, 李春霞, 龚士琛, 李国良, 扈光辉, 王明泉, 杨剑飞. 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. *作物杂志*, 2019, 3:86-90

- Ren H L, Li C X, Gong S C, Li G L, Hu G H, Wang M Q, Yang J F. Genetic correlation and path analysis of yield and agronomic characteristics of maize hybrids in SPSS software. *Crops*, 2019, 3:86-90
- [7] 张泽民, 刘丰明, 李雪英. 河南省1963-1993年玉米杂交种籽粒产量及其组成性状的遗传增益. *作物学报*, 1998, 24(2): 182-186
- Zhang Z M, Liu F M, Li X Y. Genetic contributions to kernel yield and yield components of hybrid maize, 1963 to 1993 in Henan province. *Acta Agronomica Sinica*, 1998, 24(2): 182-186
- [8] 谢振江, 李明顺, 李新海, 张世煌. 华北地区不同年代玉米杂交种农艺性状的改良进展. *玉米科学*, 2007, 60(2): 102-106
- Xie Z J, Li M S, Li X H, Zhang S H. Improvement advance on agronomic traits of maize hybrids from different eras in north China. *Journal of Maize Sciences*, 2007, 60(2): 102-106
- [9] 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. *玉米科学*, 2013, 21(5): 13-17
- Zhang H Y, Sun Q, Zhang D G, Shi H L, Ci X K, Li X H, Bai L, Chen Y, Zhou Z Q, Dong S T, Li M S. Trends of grain yield and component factor under low nitrogen in Chinese maize cultivars from different eras. *Journal of Maize Science*, 2013, 21(5): 13-17
- [10] 范雅芳, 孙继颖, 高聚林, 刘剑, 苏治军, 王志刚, 于晓芳, 胡树平, 王富贵, 屈佳伟, 青格尔. 不同年代玉米单交种产量和品质性状对秸秆还田的响应. *玉米科学*, 2022, 30(5): 45-54
- Fan Y F, Sun J Y, Gao J L, Liu J, Su Z J, Wang Z G, Yu X F, Hu S P, Wang F G, Qu J W, Qing G E. Responses of yield and quality traits of maize hybrids to straw returning in different eras. *Journal of Maize Science*, 2022, 30(5): 45-54
- [11] 刘志铭, 赵泰然, 张晓龙, 路明, 刘文国, 兰天娇, 王永军, 吕艳杰. 吉林省不同年代主栽玉米品种生理成熟后的抗倒伏特性. *玉米科学*, 2021, 29(6): 90-96
- Liu Z M, Zhao T R, Zhang X L, Lu M, Liu W G, Lan T J, Wang Y J, Lyu Y J. Lodging resistance of maize varieties in different ages in Jilin province. *Journal of Maize Science*, 2021, 29(6): 90-96
- [12] Echarte L, Andrade F H, Sadras V O, Abbate P. Kernel weight and its response to source manipulations during grain filling in Argentinean maize hybrids released in different decades. *Field Crops Research*, 2005, 96(2): 307-312
- [13] Alvarado G, López M, Vargas M, Pacheco Á, Rodr Í F, Burgueño J, Crossa J. Multi environment trial analysis with R for windows (META-R. Version 6.01). Mexico: CIMMYT, 2017
- [14] 赵久然, 郭景伦, 郭强, 尉德明, 肖必祥, 卢柏山. 玉米不同品种基因型穗粒数及其构成因素相关分析的研究. *北京农业科学*, 1997, 6: 2-3
- Zhao J R, Guo J L, Guo Q, Yu D M, Xiao B X, Lu B S. Study on correlation analysis of kernel number per ear and its components in different maize genotypes. *Beijing Agricultural Science*, 1997, 6: 2-3
- [15] 于天江, 张林, 谷思玉, 李陶, 鄂文弟, 王振华. 种植密度和施氮水平对东青1号青贮玉米生物产量及农艺性状的影响. *中国农学通报*, 2005, 11: 161-163, 166
- Yu T J, Zhang L, Gu S Y, Li T, E W D, Wang Z H. Effects of different planting density and nitrogen rates on biological yield and agricultural traits of silage maize Dongqing 1. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 11: 161-163, 166
- [16] 崔文芳, 王俊超, 高书晶. 不同氮水平下超高产玉米品种的产量性状分析. *河南农业科学*, 2012, 41(9): 35-38
- Cui W F, Wang J C, Gao S J. Correlation analyses on yield traits of maize hybrids with high yield potential at different nitrogen levels. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2012, 41(9): 35-38
- [17] 谢振江, 李明顺, 徐家舜, 张世煌. 遗传改良对中国华北不同年代玉米单交种产量的贡献. *中国农业科学*, 2009, 42(3): 781-789
- Xie Z J, Li M S, Xu J S, Zhang S H. Contributions of genetic improvement to yields of maize hybrids during different eras in North China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(3): 781-789
- [18] Lyu Y Y, Li T, Zhang M, Shen D D, Zhang S D, Zhang E Y. Correlation and principal component analysis on main agronomic traits of new waxy corn varieties. *Agricultural Science & Technology*, 2017, 18(9): 1732-1737
- [19] 王敏, 徐萍, 刘新江, 张正斌, 杨引福. 黄淮海地区夏玉米农艺性状与产量的通径分析. *中国生态农业学报*, 2011, 19(5): 1229-1236
- Wang M, Xu P, Liu X J, Zhang Z B, Yang Y F. Path analysis of summer maize agronomic traits and yield in the Huang-Huai-Hai Plain. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2011, 19(5): 1229-1236
- [20] 陈传永, 侯玉虹, 孙锐, 朱平, 董志强, 赵明. 密植对不同玉米品种产量性能的影响及其耐密性分析. *作物学报*, 2010, 36(7): 1153-1160
- Chen C Y, Hou Y H, Sun R, Zhu P, Dong Z Q, Zhao M. Effects of planting density on yield performance and density-tolerance analysis for maize hybrids. *Acta Agronomica Sinica*, 2010, 36(7): 1153-1160
- [21] 李从锋, 赵明, 刘鹏, 张吉旺, 杨今胜, 柳京国, 王空军, 董树亭. 中国不同年代玉米单交种及其亲本主要性状演变对密度的响应. *中国农业科学*, 2013, 46(12): 2421-2429
- Li C F, Zhao M, Liu P, Zhang J W, Yang J S, Liu J G, Wang K J, Dong S T. Responses of main traits of maize hybrids and their parents to density in different eras of China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(12): 2421-2429
- [22] 张凤启, 丁勇, 张君, 赵霞, 马智艳, 赵发欣, 唐保军. 种植密度对夏玉米品种株型及产量性状的影响. *中国农学通报*, 2017, 33(35): 12-17
- Zhang F Q, Ding Y, Zhang J, Zhao X, Ma Z Y, Zhao F X,

- Tang B J. Effect of planting densities on plant type and yield characters of summer maize varieties. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2017, 33(35):12-17
- [23] 郭书磊, 陈娜娜, 齐建双, 岳润清, 韩小花, 燕树锋, 卢彩霞, 傅晓雷, 郭新海, 铁双贵. 不同密度下玉米倒伏相关性状与产量的研究. *玉米科学*, 2018, 26(5):71-77
Guo S L, Chen N N, Qi J S, Yue R Q, Han X H, Yan S F, Lu C X, Fu X L, Guo X H, Tie S G. Study on the relationship between yield and lodging traits of maize under different planting densities. *Journal of Maize Science*, 2018, 26(5):71-77
- [24] 李炳昊, 徐幸, 谷岩, 吴春胜. 密度对不同品种玉米产量及其农艺性状的影响. *玉米科学*, 2019, 27(1):92-96
Li B H, Xu X, Gu Y, Wu C S. Effects of density on yield and agronomic traits in maize. *Journal of Maize Science*, 2019, 27(1):92-96
- [25] 李召锋, 梁晓玲, 阿布来提, 李明顺, 胡滔, 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. *玉米科学*, 2010, 18(4):27-31
Li Z F, Liang X L, Abulaiti, Li M S, Hu M, Han D X, Shao H Y, Li M D, Cao L P. Study on evolution of ear characteristics of main maize varieties in different Eras. *Journal of Maize Science*, 2010, 18(4):27-31
- [26] 阎晓光, 李洪, 董红芬, 李爱军, 王国梁, 杜艳伟. 山西省主推玉米品种农艺性状与产量的变化趋势. *玉米科学*, 2017, 25(5):19-26
Yan X G, Li H, Dong H F, Li A J, Wang G L, Du Y W. Trend of agronomic traits and yield of maize varieties released extensively in different eras in Shanxi. *Journal of Maize Science*, 2017, 25(5):19-26
- [27] 税红霞, 王秀全, 何丹, 张华, 卢庭启, 蒋晓芳. 不同密度下玉米穗部性状及产量的相关性分析. *中国种业*, 2014, 230(5):50-51
Shui H X, Wang X Q, He D, Zhang H, Lu T Q, Jiang X F. Correlation analysis of ear characters and yield of maize under different density. *China Seed Industry*, 2014, 230(5):50-51
- [28] Grassini P, Thorburn J, Burr C, Cassman K G. High-yield irrigated maize in the western US corn belt: I. On-farm yield, yield potential, and impact of agronomic practices. *Field Crops Research*, 2011, 120:142-150
- [29] Jia Q M, Sun L F, Mou H Y, Ali S, Liu D H, Zhang Y, Zhang P, Ren X L, Jia Z K. Effects of planting patterns and sowing densities on grain-filling, radiation use efficiency and of maize (*Zea mays* L.) in semi-arid regions. *Agricultural Water Management*, 2018, 201:287-298
- [30] 杨梅, 王晨光, 杨林, 裴文东, 吴希, 王国兴, 张仁和. 种植密度对不同熟期玉米品种种子粒含水率和产量的影响. *玉米科学*, 2022, 30(5):90-98
Yang M, Wang C G, Yang L, Pei W D, Wu X, Wang G X, Zhang R H. Effect of planting density on grain moisture content and yield of maize with different maturity hybrids. *Journal of Maize Science*, 2022, 30(5):90-98
- [31] 卢庭启, 张华, 税红霞, 蒋晓芳, 庞启华, 王秀全, 何丹. 种植密度对不同玉米品种农艺性状及产量的影响. *现代农业科技*, 2022, 825(19):1-4,9
Lu T Q, Zhang H, Shui H X, Jiang X F, Pang Q H, Wang X Q, He D. Effects of planting density on agronomic characters and yield of different maize varieties. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2022, 825(19):1-4,9
- [32] Zhang M, Xing L J, Ren X T, Zou J J, Song F P, Wang L, Xiao M Y. Evidence of arrested silk growth in maize at high planting density using phenotypic and transcriptional analyses. *Journal of Integrative Agriculture*, 2022, 21(11):3148-3157
- [33] 杨胜举, 佟玲, 吴宣毅, 陈阳. 玉米冠层辐射分布和产量对种植密度和水分的响应研究. *灌溉排水学报*, 2021, 40(8):19-26,34
Yang S J, Tong L, Wu X Y, Chen Y. Changes in radiation in canopy and the yield of maize in response to planting density and I irrigation amounts. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2021, 40(8):19-26,34