

# 我国不同年代玉米自交系茎秆性状演替规律

王凯欣<sup>1</sup>, 程子萌<sup>1</sup>, 杨艺涵<sup>1</sup>, 张德贵<sup>2</sup>, 李新海<sup>2</sup>, 史利玉<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>北京农学院植物科学技术学院, 北京 102206; <sup>2</sup>中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081)

**摘要:** 茎秆是玉米植株重要的组成部分, 与植株倒伏、籽粒产量密切相关。研究我国玉米茎秆性状变化趋势, 探讨不同年代茎秆性状演变规律, 为我国玉米抗倒伏及高产品种选育提供参考。本研究以 20 世纪 60-90 年代 65 个代表性玉米自交系为材料, 调查植株茎高、穗位高、茎节数、穗位节、茎粗、茎秆含水量、茎秆含糖量 7 个茎秆性状, 及其衍生的穗位系数(穗位高/茎高)和穗节系数(穗位节/茎节数), 基于最佳线性无偏估计值, 开展性状相关性分析及不同年代自交系茎秆性状演变规律研究。结果显示, 玉米自交系间茎秆性状差异显著; 不同年代的茎秆性状时代特征不明显; 随着年代的更替, 玉米茎高、穗位高、茎节数、穗位节呈下降趋势; 20 世纪 60-90 年代穗位高改良效果显著; 80 年代左右玉米茎秆粗细育种目标由粗壮型调整为纤细型, 可能与合理密植、提高单产的育种目标有关; 90 年代, 玉米茎秆含水量降低 3 个百分点, 下降显著。总之, 抗倒伏研究一直是我国玉米育种的重要研究方向, 且穗位高改良效果显著, 玉米茎节数、穗位节将成为玉米抗倒伏及高产研究中新的重要关注点, 研究结果对玉米抗倒伏及高产育种具有重要的指导意义。

**关键词:** 茎秆; 茎节; 穗节; 玉米; 自交系

## Evolution of Stem-related Traits of Maize Inbred Lines Through Different Decades in China

WANG Kai-xin<sup>1</sup>, CHENG Zi-meng<sup>1</sup>, YANG Yi-han<sup>1</sup>, ZHANG De-gui<sup>2</sup>, LI Xin-hai<sup>2</sup>, SHI Li-yu<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>College of Plant Science and Technology, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206; <sup>2</sup>Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

**Abstract:** Stem is an important constituent part of the maize plant, which closely affects lodging and grain yield. A study of the trend of stem-related traits of inbred lines of maize grown in China in different decades from 1960 s to 1990 s would provide references for maize breeding for lodging resistance and high yield. In this study, maize stem-related traits, including stem height (SH), ear height (EH), stem node number (SN), ear node (EN), stem diameter (SD), stem moisture content (MC), stem soluble sugar content (Brix), and ear height coefficient (EHc) and ear node coefficient (ENc) derived from some of them were investigated in 65 representative maize inbred lines of the different decades. Using these stem-related phenotypic data, ANOVA, correlation analysis and the trends in the different decades were studied. The results showed that there were significant differences in the stem traits among the maize inbred lines, while no significant difference of maize stem-related traits existed among the different decades; SH, EH, SN, and EN were decreasing from decade to decade; the EH improved significantly in the time period; around the 1980 s, the selection criteria of maize stem thickness reversed from robust to slender stems, which might be resulted from the breeding goal of increasing yield through rational dense planting; in the 1990 s, MC decreased by 3%, which was significantly different from the 1980 s. Maize lodging resistance has always been an important research in China, with EH improvement coming to a significant effect,

收稿日期: 2020-04-07 修回日期: 2020-04-17 网络出版日期: 2020-05-19

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20200407001>

第一作者研究方向为玉米遗传育种, E-mail: wangkaixin0418@163.com; 程子萌为共同第一作者

通信作者: 李新海, 研究方向为玉米遗传育种与种质资源研究, E-mail: lixinhai@caas.cn

史利玉, 研究方向为玉米遗传育种与种质资源研究, E-mail: shiliyu321@sina.com

基金项目: 北京市教委科研计划一般项目 (KM201810020005); 国家自然科学基金项目 (31671706)

Foundation projects: Beijing Educational Committee Project (KM201810020005), National Natural Science Foundation Project (31671706)

and SN and EN becoming important focuses in maize breeding of lodging resistance and high yield.

**Key words:** stem; stem node; ear node; maize; inbred lines

玉米是我国第一大农作物,在国家粮食安全中具有重要的战略地位<sup>[1-3]</sup>。茎秆作为玉米植株的重要组成部分,与植株倒伏、籽粒产量密切相关<sup>[4-5]</sup>。玉米倒伏会造成玉米叶片光合效率降低、茎秆输导组织受损,严重影响玉米的产量及质量<sup>[6-10]</sup>。据统计,每年因倒伏造成的玉米减产可达 15%~25%,产量损失可达 100 万 t<sup>[11]</sup>。而且,玉米倒伏严重影响玉米机械化收获<sup>[12-16]</sup>。调查国内推广面积较大的郑单 958、先玉 335、掖单 13 等玉米品种,发现普遍存在易倒伏、不易机收等问题<sup>[12,17-18]</sup>。因此,培育抗倒伏、易机收的高产玉米品种是目前我国玉米育种的重要任务。

玉米茎秆涉及性状主要包括茎高、穗位高、茎节数、穗位节、茎粗、茎秆含水量、茎秆含糖量等,这些茎秆性状间相关性较高<sup>[19]</sup>。茎高、穗位高、穗上节数、茎粗是玉米倒伏的重要影响因素<sup>[20-22]</sup>。穗位高与株高的比值,即穗位系数常用来衡量玉米的抗倒伏能力<sup>[20,23-24]</sup>。玉米自交系是优良杂交种选配的基础。分析玉米自交系茎秆性状变化趋势有助于我国玉米抗倒伏及高产品种的选育。1998 年,张泽民等<sup>[25]</sup>选择 20 世纪 60-80 年代 11 个有代表性的玉米自交系对株高、穗位高以及穗位系数进行了遗传改良趋势研究,发现这 3 个性状具有明显的

年代特性,改良趋势明显。2011 年,慈晓科<sup>[26]</sup>发现 1970-2000 年我国玉米自交系穗位降低、株高相对稳定,抗倒伏能力明显提高。目前关于茎节数、穗位节、茎秆含糖量开展的研究很少,虽然玉米茎秆含糖量是茎秆运输光合同化物及籽粒干物质积累的重要体现<sup>[27-29]</sup>。2019 年,尚玘玘等<sup>[19]</sup>发现果穗着生位置不仅与玉米的抗倒伏能力有关,可能还影响玉米的籽粒产量,而且降低穗位节是降低穗位高的有效途径。

目前,国内学者仅对玉米株高、穗位高及穗位系数 3 个茎秆性状变化趋势进行研究,对茎秆涉及的其他相关性状,如茎节数、穗位节、茎粗等未进行系统分析。因此,本研究以中国 20 世纪 60-90 年代育成的 65 份玉米自交系为材料,调查茎高、穗位高、茎节数、穗位节、茎粗、茎秆含水量、茎秆含糖量及穗位系数、穗节系数 2 个衍生性状,研究我国玉米自交系茎秆性状变化趋势,以期对玉米抗倒伏、高产玉米品种选育提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

本研究选用 20 世纪 60-90 年代生产上大面积推广杂交种的骨干亲本自交系 65 份(表 1)。

表 1 20 世纪 60-90 年代 65 份玉米自交系及其系谱来源

Table 1 Sixty-five maize inbred lines and their pedigrees in 1960s-1990s

育成年代 Decade	编号 Code	自交系 Inbred line	系谱 Origin/pedigree
1960s	1	吉 63	(127-32 × 铁 84)(W24 × W20) 辐
	2	WF9	选自农家种
	3	英 64	英粒子中选
	4	M14	BR10 × R8
	5	塘四平头	塘四平头
	6	自 330	OH43 × 可利 67
1970s	1	黄早四	塘四平头田间杂株选系
	2	沈 5003	选自美国 3147 杂交种
	3	7922	从美国杂交种 3382 中分离
	4	材 11-8	330 × 门可
	5	旅九宽	旅 9 杂株
	6	综 31	自 330 系统综合种
	7	E28	(A619Ht × 旅 9 宽) × 旅 9 宽 (BC3)
	8	Mo17	C103 × 187-2
1980s	1	吉 853	(黄早四 × 自 330) × 黄早四
	2	四自四	(黄早四 × 自 334) × 黄早四

表 1(续)

育成年代 Decade	编号 Code	自交系 Inbred line	系谱 Origin/pedigree
1980s	3	H21	黄早四 × H84
	4	昌 7-2	(黄早四 × 潍 95) × S901
	5	434	466 × 桦 94
	6	D 黄 212	D729 × 黄早四
	7	K 14	5005 × 6917
	8	835	U8112 × 自选系 718
	9	丹 9046	5003 × 79-22
	10	掖 478	(8112 × 沈 5003) S8
	11	803	U8112 × 5003
	12	K22	掖 478 × K11
	13	鲁原 92	原齐 122 × 1137
	14	辽巨 311	辽巨综群体来源
	15	甸 11	掖桦甸红骨子
	16	U8112	美国商品玉米中分离选育
	17	掖 52106	矮金 525 × 掖 107/106
	18	吉 81162	(矮金 525 × 掖 107) × 106
	19	齐 319	先锋杂交种 78599 选系
	20	农大 178	美国杂交种 78599
	21	辽白 371	大白粒中的二环系
	22	698-3	美国先锋杂交种 78698
	23	吉 477	CoMo17 材料中选育
	24	C649	Mo17 × 金皇后
	25	200B	330 × 187-2
1990s	1	旱 21	美国杂交种 78599
	2	444	A619 × 黄早四
	3	SH15	美国杂交种 78599
	4	武 314	黄早四 × (武 302D + 黄爆裂)
	5	冀 35	黄早四 × 农家种冀多 142
	6	LX9801	掖 502 × H21
	7	辽 2345	铁 7922 × 沈 5003
	8	辽 5114	铁 7922 × 沈 5003
	9	海 9-21	78599 等 4 个杂交种混合授粉后自交
	10	郑 58	掖 478 变异株
	11	冀 53	冀群 2C0-2
	12	中 451	4513 × 热带玉米 Sailisi
	13	东 237	M14、维尔 44 等综合种
	14	海 014	海龙红骨子
	15	中自 01	选自美国 PN78641 杂交种
	16	丹 598	(OH43 <sup>Hd3</sup> × 丹 340) × 丹黄 02 × 丹黄 11 × 78599
	17	郑 22	丹 340 × E28
	18	丹 988	美国杂交种 78599
	19	多黄 29	美国杂交种 78599
	20	沈 137	先锋(海外)6JK111 杂交种
	21	P138	美国杂交种 78599
	22	丹 3130	美国杂交种 78599
	23	丹 1324	Mo17 × NN14BHt/Mo17BC3
	24	495	(Mo17 × L105) × Mo17
	25	辽 3053	(5003 × B68)/7922
	26	齐 205	Population 70 QPM × (潍矮 141 × 中系 017/02) S <sub>3</sub>

## 1.2 种植方法

2018 年和 2019 年将供试材料种植于北京农学院亭自庄科技园 (40°10' N、116°08' E) 试验基地。供试材料随机排列, 单行种植, 行长 5 m, 行距 60 cm, 株距 25 cm (约 5445 株 /667 m<sup>2</sup>)。其中, 部分试验材料设置 3 次重复用以矫正供试材料茎秆性状表型值。2018 年设置重复的材料共 4 个, 分别为塘四平头、综 31、C649 和丹 1324; 2019 年设置重复的材料共 19 个, 分别为吉 63、WF9、英 64、M14、塘四平头、黄早四、7922、四自四、昌 7-2、K14、丹 9046、鲁原 92、甸 11、海 9-21、中 451、海 014、P138、495、辽 3053。四周设置 2 行保护行。试验基地土壤类型为潮土, pH 值 8.10。基肥分别施尿素 375 kg/hm<sup>2</sup>、磷酸二铵 375 kg/hm<sup>2</sup>、复合肥 375 kg/hm<sup>2</sup>, 在大喇叭口期追肥尿素 275 kg/hm<sup>2</sup>。田间其他管理与一般生产田相同。

## 1.3 性状测定方法

供试材料每行选取 2 株, 授粉后 25 d 左右进行全株收获 (地上部分全部刈割)。随后, 将叶片、叶鞘、雄穗、气生根等全部摘除, 留带有果穗的玉米茎秆备用。

调查性状包括玉米茎高 (SH, stem height)、穗位高 (EH, ear height)、茎节数 (SN, stem node number)、穗位节 (EN, ear node)、茎粗 (SD, stem diameter)、茎秆含糖量 (Brix) 和含水量 (MC, moisture content)。其中, 茎高, 玉米茎秆基部至玉米雄穗着生节的距离; 穗位高, 玉米茎秆基部至玉米果穗着生节距离; 茎节数, 玉米茎秆上茎节的个数; 穗位节, 自玉米基部节起, 果穗着生节节数; 茎粗, 玉米果穗着生节上节间直径和下节间的直径的均值, 用游标卡尺测量; 含糖量, 玉米茎秆榨汁混匀, 用移液枪吸取 1~2 mL, 使用手持式数显糖度计 (PR-101  $\alpha$ ) 测定; 含水量, (茎鲜重 - 茎干重) 与茎鲜重的比值; 穗位系数 (EHc, ear height coefficient), 穗位高与茎高的比值; 穗节系数 (ENc, ear node

coefficient), 穗位节与茎节数的比值。

## 1.4 统计分析

使用 Genstat 统计分析软件中的限制性最大似然 (REML, restricted maximum likelihood) 函数对供试材料的茎秆性状进行最佳线性无偏估计 (BLUP, best linear unbiased prediction); 基于 2018 年、2019 年矫正后茎秆性状表型值, 进行不同自交系茎秆性状方差分析、不同年代茎秆性状方差分析; 采用灵敏度较高的最小显著差法 (LSD, least significant difference) 进行年代间茎秆性状多重比较 ( $\alpha=0.05$ ); 基于 2018 年和 2019 年茎秆性状估算的最佳线性无偏估计值计算茎秆性状间的 Pearson 相关系数。

# 2 结果与分析

## 2.1 玉米自交系茎秆性状的遗传差异

基于 2018 年、2019 年 65 份自交系的茎秆性状进行方差分析 (表 2) 发现, 除茎秆含水量外, 其他 8 个性状在不同自交系间的表现差异显著, 说明在我国 40 年的玉米遗传改良中, 对玉米茎秆性状的改良和利用存在多样性。基于 2018 年、2019 年的茎秆性状进行方差分析发现, 不同年代间, 育成玉米自交系的茎秆性状无显著差异。

## 2.2 玉米自交系茎秆性状相关性分析

基于 2018 年、2019 年茎秆性状的表型数据计算 65 份玉米自交系茎秆性状的最佳线性无偏估计值, 用所获得的 BLUP 值进行后续分析 (后同)。

65 份玉米自交系茎秆性状相关性分析 (表 3) 发现, 玉米穗位高与茎高、穗位系数呈极显著正相关, 茎高和穗位系数无显著线性关系, 说明玉米穗位高对穗位系数的影响更大。因穗位系数常用来衡量玉米的抗倒伏能力, 所以, 穗位高对玉米倒伏的影响更大。同理, 穗位节对玉米倒伏的影响更大。

玉米茎秆含水量与茎粗无显著线性关系, 说明

表 2 玉米自交系茎秆性状方差分析

Table 2 ANOVA analysis of stem traits in maize inbred lines

变异来源 Source of variation	茎高 (cm) SH	穗位高 (cm) EH	穗位系数 EHc	茎节数 SN	穗位节 EN	穗节系数 ENc	茎粗 (mm) SD	含水量 (%) MC	糖含量 (%) Brix
处理间 Treatment	1445.383	562.314	0.013	4.150	3.127	0.008	10.456	34.293	6.577
误差 Error	304.251	141.837	0.004	1.280	0.550	0.002	5.471	23.135	3.530
F	4.75**	3.96**	3.04**	3.24**	5.68**	3.60**	1.91**	1.48	1.86*

\*:  $P<0.05$ , \*\*:  $P<0.01$ , the same as below



表 3 65 份玉米自交系茎秆性状间 Pearson 相关系数

Table 3 Correlation analysis of stem-related traits among 65 maize inbred lines

性状 Trait	茎高 SH	穗位高 EH	穗位系数 EHc	茎节数 SN	穗位节 EN	穗节系数 ENc	茎粗 SD	含水量 MC	糖含量 Brix
茎高 SH	1.000								
穗位高 EH	0.710**	1.000							
穗位系数 EHc	-0.048	0.656**	1.000						
茎节数 SN	0.397**	0.595**	0.452**	1.000					
穗位节 EN	0.340**	0.791**	0.770**	0.753**	1.000				
穗节系数 ENc	0.158**	0.650**	0.749**	0.252*	0.824**	1.000			
茎粗 SD	0.271*	-0.009	-0.280*	0.139	-0.079	-0.228	1.000		
含水量 MC	0.279*	0.364**	0.263*	0.381**	0.464**	0.394**	0.224	1.000	
糖含量 Brix	-0.028	-0.336**	-0.454**	-0.456**	-0.545**	-0.426**	0.099	-0.446**	1.000

玉米茎秆的粗细不便作为茎秆含水量的衡量指标。而且茎秆含水量与茎高、茎节数、穗位高、穗位节呈显著或极显著正相关,说明植株及果穗的高度影响茎秆含水量。

玉米茎秆含糖量与茎粗、茎高无显著线性关系,说明灌浆期某时刻,茎秆糖含量与玉米植株的高大粗壮无明显关系;但茎秆糖含量与穗位高、穗位节呈极显著负相关说明果穗高度或果穗着生节越低,茎秆糖含量越高,即茎秆中的光合同化物越多,这可能更有利于籽粒干物质的积累。

### 2.3 不同年代玉米自交系茎秆性状变化规律及改良效应

玉米茎秆性状多为连续变化的数量性状,其性状改良是一个由量变到质变的过程。为更好地分析年代间茎秆性状的改良情况,采用最小显著差法(LSD)进行年代间的多重比较。从不同年代间茎秆性状变化趋势(图1)可以发现,20世纪60-90年代之间,我国育成玉米自交系的茎高(SH)、穗位高(EH)呈现下降趋势,穗位系数(EHc)下降明显(图1A),说明我国玉米育种过程中对玉米的抗倒性有一定的选择。20世纪60-90年代,玉米穗位高降低15.27 cm,达到显著水平;而且茎高、穗位高变化趋势一致(表4),说明在我国玉米40多年的育种历程中,降低株高、穗位高一直是我国玉米育种的一个重要改良方向,而且穗位高改良效果显著。

此外,从穗节系数(ENc)变化趋势也可以看出,20世纪60-70年代和80-90年代这2个阶段对玉米抗倒性的改良力度较大(图1B)。从表4可以看出,LSD年度均值,20世纪70年代茎高

(-11.04)、穗位高(-6.26)的改良力度最大,90年代茎节数(-0.81)和穗位节(-0.56)的改良力度最大(表4),而且对茎节数、穗位节的改良导致的90年代穗位系数(-0.03)变化最大(表4),但是90年代玉米自交系茎高均值与80年代相比几乎无变化。这说明在株高降低到一定程度之后,从茎节数和穗位节考虑植株抗倒伏性有一定的效果。因之前研究者考察穗位时多用穗位高作为衡量指标,这也预示着在目前玉米抗倒伏研究基础之上,从降低果穗着生节的角度来研究抗倒性可能比从穗位高的角度研究的效果要好。

就玉米茎粗(SD)而言,20世纪60-80年代,我国育成自交系的茎秆直径呈轻微上升趋势,80-90年代育成的自交系直径明显降低(图1C),甚至低于60年代均值(表4),说明80-90年代之间,育种家对茎秆粗细可能进行一定选择,而且更倾向于选择相对纤细的株型,这可能与玉米密植株型的研究有关。而且,20世纪90年代育成的玉米自交系的直径比80年代降低了8个百分点,达到显著水平,说明90年代改良效果显著。

自20世纪70年代开始,我国育成自交系的玉米茎秆含糖量(Brix)呈上升趋势(图1C、表4)。鉴于40年的育种历程中,育种家对茎秆含糖量的未关注、无选择及对玉米抗倒伏,即穗位性状的强选择,结合茎秆糖含量与穗位节、穗位高的极显著负相关,我们认为茎秆含糖量的增加可能是由于对穗位性状的选择造成的。

基于授粉后25 d左右的玉米自交系茎秆含水量调查分析,发现20世纪60-80年代,茎秆含水量

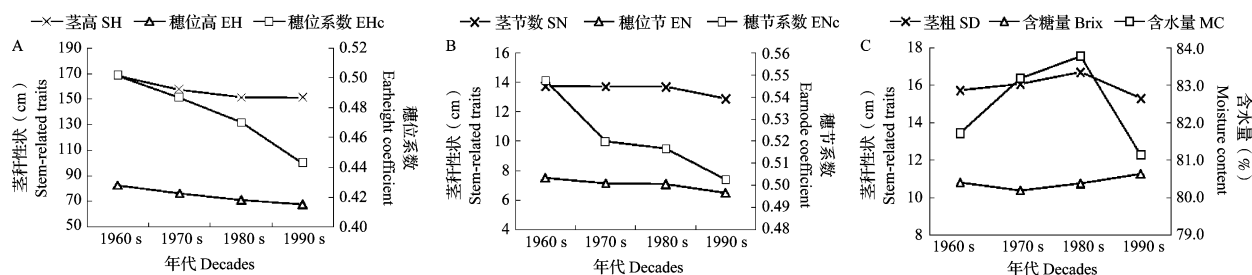


图 1 不同年代玉米茎秆相关性状变化趋势

Fig.1 Trend of maize stem-related traits through different decades

表 4 不同育成年代玉米自交系茎秆性状表现及其 LSD 多重比较

Table 4 Phenotypic data of maize stem-related traits and LSD in different decades

项目	年代	茎高 (cm)	穗位高	穗位系数	茎节数	穗位节	穗节系数	茎粗 (mm)	含水量 (%)	糖含量 (%)
Item	Decades	SH	(cm) EH	EHc	SN	EN	ENc	SD (mm)	MC (%)	Brix (%)
均值	1960s	168.7 ± 33.6	82.8 ± 10.7	0.50 ± 0.09	13.74 ± 0.94	7.54 ± 1.01	0.55 ± 0.05	15.74 ± 1.92	81.73 ± 3.29	10.80 ± 1.96
Mean	1970s	157.7 ± 39.2	76.6 ± 21.7	0.49 ± 0.08	13.71 ± 1.28	7.15 ± 1.07	0.52 ± 0.04	16.07 ± 1.71	83.20 ± 4.76	10.39 ± 1.69
	1980s	151.8 ± 25.0	71.0 ± 14.5	0.47 ± 0.08	13.68 ± 1.76	7.07 ± 1.29	0.52 ± 0.07	16.71 ± 2.70	83.79 ± 3.50	10.75 ± 2.56
	1990s	151.6 ± 26.8	67.6 ± 18.5	0.44 ± 0.08	12.87 ± 1.37	6.51 ± 1.28	0.50 ± 0.07	15.31 ± 2.32	81.14 ± 4.86	11.27 ± 1.61
均值 LSD 比较	1960s-1970s	-11.04	-6.26	-0.01	-0.03	-0.39	-0.03	0.33	1.47	-0.41
LSD comparison	1960s-1980s	-16.98	-11.82	-0.03	-0.06	-0.47	-0.03	0.96	2.06	-0.06
of mean	1960s-1990s	-17.18	-15.27*	-0.06	-0.86	-1.03	-0.04	-0.43	-0.58	0.47
	1970s-1980s	-5.94	-5.56	-0.02	-0.03	-0.08	0	0.64	0.59	0.36
	1970s-1990s	-6.13	-9.01	-0.04	-0.84	-0.64	-0.02	-0.76	-2.06	0.88
	1980s-1990s	-0.20	-3.45	-0.03	-0.81	-0.56	-0.01	-1.40*	-2.64*	0.53

明显上升, 80-90 年代茎秆含水量大幅下降, 结合性状间的相关性分析及茎高、茎节数、穗位高、穗位节的变化趋势, 推测可能也是由于株高、穗位的变化产生的连带效应, 尤其是 80-90 年代, 茎节数及穗位节的双重降低导致含水量下降 3 个百分点, 达到显著水平 (表 4)。

### 3 讨论

#### 3.1 玉米自交系茎秆性状时代特征不明显

我国 20 世纪 60-90 年代育成的玉米自交系间茎秆性状存在显著差异, 但是不同年代间育成的自交系茎秆性状差异不显著, 说明就茎秆性状而言, 我国育成自交系没有明显的时代特征。不过, 根据实际问题研究需要, 结合 20 世纪 60-90 年代茎秆性状变化趋势图, 我们又采用灵敏度比较高的 LSD 方法进行年代间的多重比较分析, 发现在 60-90 年代的玉米育种历程中, 穗位高的改良效果比较显著, 80 年代和 90 年代的茎粗及含水量的差异显著。这说明这些差异是介于显著与不显著之间的边缘地带。

#### 3.2 玉米抗倒伏研究是我国玉米育种的重要研究方向

玉米抗倒伏研究一直是我国玉米育种的重要研究方向, 随着育种工作者 40 年坚持不懈的努力, 20 世纪 90 年代玉米穗位高降低 15.27 cm, 改良效果较好。

此外, 20 世纪 90 年代玉米含水量降低 3 个百分点, 改良效果显著。考虑育种过程中育种人员无法对茎秆含水量进行直接选择, 从表 4 中 90 年代茎节数、穗位节、茎高、穗位高的改良力度及其与含水量的显著负相关推测是由于玉米抗倒性研究中筛选较低的株高、穗位高时伴随产生的较少的茎节数和较低的穗位节所导致的。同时, 较低的穗位节, 茎秆含糖量相对较高, 可能更有利于籽粒干物质的积累<sup>[19,30]</sup>。结合玉米“一节一叶”结构特点, 预测玉米茎节数和穗位节将会是我国玉米抗倒伏研究及产量研究中新的关注点。

#### 3.3 玉米茎粗育种方向发生改变

合理密植是提高我国玉米单产的关键措施, 而密度的增加会伴随着茎节直径的减小<sup>[31]</sup>。20 世纪

90年代以来,我国玉米茎粗改良效果显著,育种工作者更倾向于选育茎秆较细的玉米自交系。而20世纪80年代之前育成的自交系直径呈上升趋势,说明80年代左右育种工作者适当调整育种目标。就茎秆粗细来讲,由原来的粗壮型改为相对纤细型。这可能与我国密植株型及机械化收割研究有关。

#### 参考文献

- [1] 韩长赋. 玉米论略. 种子科技, 2012(7): 1-3  
Han C F. On maize. Seed Science, 2012(7): 1-3
- [2] 仇焕广, 张世煌, 杨军, 井月. 中国玉米产业的发展趋势、面临的挑战与政策建议. 中国农业科技导报, 2013(1): 20-24  
Chou H G, Zhang S H, Yang J, Jing Y. Development of China's maize industry, challenges in the future and policy suggestions. Journal of Agricultural Science and Technology, 2013(1): 20-24
- [3] 佟屏亚. 中国玉米生产形势和技术走向. 农业科技通讯, 2012(10): 5-7  
Tong P Y. Corn production situation and technology trend in China. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2012(10): 5-7
- [4] 周颖, 顾万荣, 赵猛, 佟桐, 刘笑鸣, 李彩凤, 李晶, 魏湜. 黑龙江省不同熟期春玉米品种茎秆特性及机收指标差异. 华北农学报, 2017, 32(S1): 140-146  
Zhou Y, Gu W R, Zhao M, Tong T, Liu X M, Li C F, Li J, Wei T. Differences of stalk characteristics and grain mechanically harvesting qualities of different maturing type spring maize in Heilongjiang Province. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2017, 32(S1): 140-146
- [5] 丰光, 景希强, 李妍妍, 王亮, 黄长玲. 玉米茎秆性状与倒伏性的相关和通径分析. 华北农学报, 2010, 25(S1): 72-74  
Feng G, Jing X Q, Li Y Y, Wang L, Huang C L. Correlation and path analysis of lodging resistance with maize stem characters. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2010, 25(S1): 72-74
- [6] 井淑香, 郑以宏, 袁永胜, 黄迎光, 梁凤玲. 不同生育时期倒伏对夏玉米生育性状和产量的影响. 山东农业科学, 2018, 50(2): 61-63, 67  
Jing S X, Zheng Y H, Yuan Y S, Huang Y H, Liang F L. Effects of lodging at different growing stages on growing characters and grain yield of summer maize. Shandong Agricultural Sciences, 2018, 50(2): 61-63, 67
- [7] 刘战东, 肖俊夫, 南纪琴, 冯跃华. 倒伏对夏玉米叶面积、产量及其构成因素的影响. 中国农学通报, 2010, 26(18): 107-110  
Liu Z D, Xiao J F, Nan J Q, Feng Y H. Effect of different levels lodging on leaf area index, yield and its components of summer maize. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(18): 107-110
- [8] 曹庆军, 曹铁华, 杨粉团, Lamine Diallo, 李刚, 王立春. 灌浆期风灾倒伏对玉米籽粒灌浆特性及品质的影响. 中国生态农业学报, 2013, 21(9): 1107-1113  
Cao Q J, Cao T H, Yang F T, Lamine D, Li G, Wang L C. Effect of wind damage on grain-filling characteristics, grain quality and yield of spring maize (*Zea mays* L.). Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(9): 1107-1113
- [9] 程富丽, 杜雄, 刘梦星, 靳小利, 崔彦宏. 玉米倒伏及其对产量的影响. 玉米科学, 2011, 19(1): 105-108  
Cheng F L, Du X, Liu M X, Jin X L, Cui Y H. Lodging of summer maize and the effects on grain yield. Journal of Maize Sciences, 2011, 19(1): 105-108
- [10] 陈碧梅, 劳赏业. 玉米倒伏类型及抗倒伏措施. 农业灾害研究, 2015, 5(4): 5-6  
Chen B M, Lao S Y. Lodging types and lodging-resistant measures of corn. Journal of Agricultural Catastrophology, 2015, 5(4): 5-6
- [11] 丰光, 黄长玲, 邢锦丰. 玉米抗倒伏的研究进展. 作物杂志, 2008(4): 12-14  
Feng G, Huang C L, Xing J F. The research progress in lodging resistance of maize. Crops, 2008(4): 12-14
- [12] 李中建, 许洛, 郑书海, 冯健英. 10个宜机收夏玉米品种茎秆抗倒特性比较. 河北农业科学, 2019, 23(5): 1-7  
Li Z J, Xu L, Zheng S H, Feng J Y. Comparison of stalk lodging resistance of ten summer maize varieties suitable for mechanized harvesting. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2019, 23(5): 1-7
- [13] Elmore R W, Ferguson R B. Mid-season stalk breakage in corn: hybrid and environmental factors. Journal of Production Agriculture, 1999, 12(2): 293-299
- [14] 黄璐, 乔江方, 刘京宝, 夏来坤, 朱卫红, 李川, 周庆伟. 夏玉米不同密植群体抗倒性及机收指标探讨. 华北农学报, 2015, 30(2): 198-201  
Huang L, Qiao J F, Liu J B, Xia L K, Zhu W H, Li C, Zhou Q W. Research on the relationship between maize lodging resistance and grain mechanically harvesting qualities in different planting density. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2015, 30(2): 198-201
- [15] 勾玲, 赵明, 黄建军, 张宾, 李涛, 孙锐. 玉米茎秆弯曲性能与抗倒能力的研究. 作物学报, 2008, 34(4): 653-661  
Gou L, Zhao M, Huang J J, Zhang B, Li T, Sun R. Bending mechanical properties of stalk and lodging-resistance of maize (*Zea mays* L.). Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(4): 653-661
- [16] 徐天成, 周富亮, 黄联润, 谢沛丰, 管悦, 蓝翠珍, 刘鹏飞. 玉米抗倒伏性相关研究进展. 安徽农学通报, 2019, 25(11): 29-32  
Xu T C, Zhou F L, Huang L R, Xie P F, Guan Y, Lan C Z, Liu P F. Research progress on lodging resistance of maize. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2019, 25(11): 29-32
- [17] 贾永贵, 陈娜娜, 铁双贵, 燕树锋, 孙书库. 市售玉米品种抗倒性评价及影响因素分析. 分子植物育种, 2019, 17(15): 5179-5184  
Jia Y G, Chen N N, Tie S G, Yan S F, Sun S K. The evaluation and influencing factors analysis of lodging resistance in commercial maize cultivars. Molecular Plant Breeding, 2019, 17(15): 5179-5184
- [18] 王元东, 张华生, 段民孝, 张雪原, 张春原, 陈传永, 赵久然. 适于全程机械化生产的玉米新品种选育探讨. 中国种业, 2014(11): 23-25  
Wang Y D, Zhang H S, Duan M X, Zhang X Y, Zhang C Y, Chen C Y, Zhao J R. Discussion on the selection of new maize varieties suitable for the whole mechanized production. China

- Seed Industry, 2014( 11 ): 23-25
- [ 19 ] 尚圻圻, 张德贵, 王凯欣, 王国梁, 潘金豹, 李新海, 史利玉. 我国玉米自交系茎秆性状多样性分析. 植物遗传资源学报, 2020, 21( 2 ): 321-329  
Shang Q Q, Zhang D G, Wang K X, Wang G L, Pan J B, Li X H, Shi L Y. Diversity analysis of stalk traits in maize inbred lines in China. Journal of Plant Genetic Resources, 2020, 21( 2 ): 321-329
- [ 20 ] 付志远, 邵可可, 陈德芝, 王炳民, 许志学, 丁冬, 汤继华. 穗上节间数与玉米抗倒伏能力的相关性分析. 河南农业大学学报, 2011, 45( 2 ): 149-154  
Fu Z Y, Shao K K, Chen D Z, Wang B M, Xu Z X, Ding D, Tang J H. Correlation analysis of the internode number above ear and lodging resistance in maize. Journal of Henan Agricultural University, 2011, 45( 2 ): 149-154
- [ 21 ] 王永学, 张战辉, 刘宗华. 玉米抗倒伏性状的配合力效应及途径分析. 河南农业大学学报, 2011, 45( 1 ): 1-6  
Wang Y X, Zhang Z H, Liu Z H. Combining ability and path analysis of lodging resistance traits in maize. Journal of Henan Agricultural University, 2011, 45( 1 ): 1-6
- [ 22 ] 崔子田. 玉米穗上节间数的 QTL 定位及遗传分析. 郑州: 河南农业大学, 2010  
Cui Z T. The QTL mapping and genetic analysis for the internode number upper ear in maize. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2010
- [ 23 ] Tang J H, Teng W T, Yan J B, Ma X Q, Meng Y J, Dai J R, Li J S. Genetic dissection of plant height by molecular markers using a population of recombinant inbred lines in maize. Euphytica, 2007, 155( 1-2 ): 117-124
- [ 24 ] Li Y H, Qian Q, Zhou Y H, Yan M X, Sun L, Zhang M, Fu Z M, Wang Y H, Han B, Pang X M, Chen M S, Li J Y. BRITTLE CULM1, which encodes a COBRA-like protein, affects the mechanical properties of rice plants. The Plant Cell, 2003, 15( 9 ): 2020-2031
- [ 25 ] 张泽民, 刘丰明, 牛连杰, 田兰荣. 不同年代玉米自交系性状改良趋势的研究. 遗传, 1998, 20( S1 ): 77-79  
Zhang Z M, Liu F M, Niu L J, Tian L R. Study on trend of genetic improvement about corn inbreeding lines. Hereditas, 1998, 20( S1 ): 77-79
- [ 26 ] 慈晓科. 我国不同年代玉米品种及其亲本自交系的演变规律. 泰安: 山东农业大学, 2011  
Ci X K. Changes of maize cultivars and their parent lines released at different years. Taian: Shandong Agricultural University, 2011
- [ 27 ] 岳尧海, 周小辉, 杨贤成, 任军, 刘俊英. 夏玉米产量性状与产量的灰色关联度分析. 玉米科学, 2004, 12( 4 ): 21-22, 25  
Yue Y H, Zhou X H, Yang X C, Ren J, Liu J Y. Analysis of grey correlated degree between yield trait and yield of summer maize. Journal of Maize Sciences, 2004, 12( 4 ): 21-22, 25
- [ 28 ] 华鹤良, 赵青, 周宇, 李国生, 王震寰, 卞云龙. 玉米棒三叶光合性状对茎秆糖含量的影响. 玉米科学, 2016, 24( 3 ): 92-98  
Hua H L, Zhao Q, Zhou Y, Li G S, Wang Z H, Bian Y L. Effect of photosynthetic characters of three ear leaves on stalk sugar content in maize. Journal of Maize Sciences, 2016, 24( 3 ): 92-98
- [ 29 ] 华鹤良, 赵青, 李国生, 曹振奇, 王杰, 卞云龙. 玉米籽粒灌浆特性及其与茎秆糖分的关系. 江苏农业学报, 2018, 34( 6 ): 1239-1246  
Hua H L, Zhao Q, Li G S, Cao Z Q, Wang J, Bian Y L. Kernel filling characteristics and their relationship with stalk sugar content in maize. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2018, 34( 6 ): 1239-1246
- [ 30 ] 阚欣. 玉米穗上多叶基因的精细定位及转录组分析. 扬州: 扬州大学, 2018  
Kan X. Fine-mapping and transcriptome analysis of leafy gene in maize. Yangzhou: Yangzhou University, 2018
- [ 31 ] 赵英善. 玉米茎秆结构性化合物变化与抗倒伏强度关系的研究. 石河子: 石河子大学, 2015  
Zhao Y S. The research on the relationship between the changes of maize stem structural compounds and lodging resistance strength. Shihezi: Shihezi University, 2015