



周超,王俊强,韩业辉,等. 种植密度和生长调节剂对嫩单 19 茎秆性状的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2022(4):8-12.

种植密度和生长调节剂对嫩单 19 茎秆性状的影响

周 超¹,王俊强¹,韩业辉¹,许 健¹,徐 婷¹,董 扬¹,柴丽丽¹,丁昕颖²

(1. 黑龙江省农业科学院 齐齐哈尔分院,黑龙江 齐齐哈尔 161006;2. 黑龙江省农业科学院 畜牧兽医分院,黑龙江 齐齐哈尔 161006)

摘要:为了明确种植密度和植物生长调节剂对玉米茎秆性状的影响,本研究以玉米品种嫩单 19 为材料,设置 3 个密度水平,以及乙烯利矮壮素复配剂(EC)和喷施清水(CK)2 个处理,研究植物生长调节剂和种植密度对嫩单 19 茎秆性状的影响。结果表明:随种植密度增加,玉米株高增加、重心高度上移、基部节间伸长、基部节间充实度和抗折力下降。EC 处理显著降低了地上部第 6 节以下的节间长度,显著增加了地上部第 7 节以上的节间长度,株高略降低,重心高度和穗位高显著降低,基部节间长度缩短,从而提高了茎秆的抗倒伏能力。由此可见,在风灾倒伏频发地区以及种植密度过大等倒伏风险较大条件下,喷施植物生长调节剂可显著增加玉米茎秆的抗折力和茎秆外皮穿刺强度,显著降低穗位高、重心高度和倒伏率,有利于玉米高产稳产。

关键词:玉米;茎秆性状;种植密度;植物生长调节剂

玉米是我国重要的粮食作物,也是总产量最高的第一大粮食作物,在保障国家粮食安全和满足市场需求方面发挥着重要作用^[1]。近年来,由于在玉米生产中经常出现种植密度过大,遭遇台风、暴雨等极端的天气,导致玉米经常发生倒伏现象^[2]。玉米倒伏后,群体结构被破坏,打乱了叶片在空间的正常分布秩序,致使叶片的光合效率锐减。茎折则破坏了茎秆的输导系统,在影响根系向叶片运输水分和养料的同时,也影响叶片向果穗输送光合产物,造成减产,所以目前玉米生产中合理密植是实现高产的重要栽培措施之一。喷施化控剂是提高植株抗倒能力、预防倒伏的有效栽培技术措施。乙烯利能显著降低株高和穗位高,抑制基部节间伸长,显著降低 PAL 酶活性、节间生长素和赤霉素含量,提高脱落酸含量^[3];玉米拔节前喷施 30% 已·乙水剂,可提高茎秆抗倒伏能力。矮壮素是一种生长延缓剂,对作物生长具有控制作用^[4]。喷施后可使植株矮化、茎秆粗壮,叶绿素含量增加,根系发达,阻碍内源赤霉素的生物合成,从而延缓细胞伸长,使植株矮化,防止倒伏^[5]。前人对玉米品种抗倒伏能力与茎秆形态性状及力学性状的关系研究较多,而针对喷施植物

生长调节复配剂对玉米抗倒伏能力的影响研究较少。本研究通过设置不同种植密度和化学调控处理,探讨种植密度对玉米品种嫩单 19 茎秆性状的影响,以及植物生长调节复配剂对茎秆性状的调控机理,旨在为春玉米在生产中合理密植和高产抗逆栽培提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本研究于 2020—2021 年在黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院试验基地进行。试验田土壤类型为黑土,土壤基本理化性状为 pH6.9,有机质含量 17.37 g·kg⁻¹、碱解氮 89.51 mg·kg⁻¹,速效磷 10.7 mg·kg⁻¹,速效钾 80.3 mg·kg⁻¹。

1.2 材料

本研究试验材料为嫩单 19,是黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院玉米室于 2009 年以自育自交系 N8924 为母本、自育自交系 N7923 为父本杂交选育而成的中晚熟、高产、优质杂交种。在适应区生育日数 127 d,需 ≥10℃ 活动积温 2 600℃,2017 年通过黑龙江省农作物品种审定委员会审定推广(审定编号:黑审玉 2017012),适宜黑龙江省第一积温带种植。2020 年嫩单 19 被黑龙江省农业农村厅列为黑龙江省农作物优质高效品种。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 本试验采用随机区组设计,设置 6.0 万株·hm⁻² (M1)、7.5 万株·hm⁻² (M2) 和 9.0 万株·hm⁻² (M3) 3 个种植密度水平,在玉米第

收稿日期:2021-12-28

基金项目:国家现代农业产业技术体系(CARS-02-46);黑龙江省应用技术与开发计划(GA20B102-05)。

第一作者:周超(1986—),女,硕士,助理研究员,从事玉米遗传育种研究。E-mail:zhouchao1201@126.com。

7 叶展叶期喷施 0.45 L·hm⁻² 乙烯利和矮壮素复配剂,兑水 210 L·hm⁻² 进行叶面喷施(EC),对照(CK)喷施等量清水。12 行区,行长 5 m,小区面积 36 m²,3 次重复。小区田间管理同大田。

1.3.2 测定项目及方法 农艺性状:分别于玉米吐丝期和生理成熟期,每小区取有代表性植株 10 株,测定株高、穗位高和重心高度,并计算茎秆横截面积。公式如下:

穗位系数=穗位高/株高
茎秆横截面积=(R₁/2)×(R₂/2)×3.14

式中,R₁、R₂ 分别代表不同节位长短轴直径。

茎秆节间抗折力:分别于吐丝期和成熟期取未倒伏的代表性植株,取基部第 3、第 4、第 5 节间,剥除叶鞘,用茎秆强度仪(YYD-1,浙江托普仪器有限公司,中国)测定节间抗折力。

茎秆外皮穿刺强度:分别于吐丝期和灌浆期从各小区选取有代表性植株 3 株,采用 3YJ-1 型玉米茎秆硬度计,将一定横截面积的测头在茎秆节间中部垂直于茎秆方向均匀插入,读取穿透茎秆外皮的极大值。即为该茎的硬皮穿刺强度;3 次重复,取平均值。

倒伏率(%)=倒伏株数/总株数×100

产量及产量构成要素:每小区收获中间 4 行,进行考种和测产。

实测产量(kg·hm⁻²)=鲜穗重(kg·hm⁻²)×出籽率(%)×[1-籽粒含水率(%)]/(1-14%)

1.3.3 数据分析 用 Excel 2007 软件进行数据整理和作图,用 SPSS 19.0 软件进行方差分析,其中处理间差异显著性采用 LSD 法进行检验。试验数据均为两年平均值。

表 2 密植和乙烯利矮壮素复配剂(EC)对嫩单 19 株高穗位、重心高度和节间长度的影响

密度	药剂处理	株高/cm	穗位高/cm	穗位系数	重心高度/cm	1~6 节间 长度/cm	7 节以上节 间长度/cm
M1	CK	285.3 b	110.0 a	0.39 a	84.7 b	87.4 b	171.6 c
	EC	279.2 c	99.3 c	0.36 b	78.7 c	79.8 c	182.9 b
M2	CK	295.5 a	111.9 a	0.38 a	92.6 a	95.1 a	175.3 c
	EC	283.3 b	102.1 b	0.36 b	82.4 b	85.8 b	189.5 a
M3	CK	306.4 a	116.3 a	0.38 a	98.5 a	99.8 a	184.4 b
	EC	296.0 a	104.2 b	0.35 b	87.8 b	89.1 b	192.7 a

2.2.2 茎秆横截面积 由图 1 可知,随着种植密度的增加,茎秆横截面积呈现下降的趋势。在 EC

2 结果与分析

2.1 密植和乙烯利矮壮素复配剂(EC)对嫩单 19 倒伏情况的影响

由表 1 可以看出,3 种植密度下嫩单 19 均在 V14 期发生倒伏,倒伏率随种植密度的增加呈上升趋势。EC 处理较 CK 处理降低了植株倒伏率,在 M1、M2 和 M3 密度条件下分别比对照低 56.5%、69.3% 和 77.9%。

表 1 密植和乙烯利矮壮素复配剂(EC)对嫩单 19 倒伏情况的影响

密度	药剂处理	倒伏发生时期	倒伏分级	倒伏率/%
M1	CK	V14	2	8.5 d
	EC	V14	1	3.7 e
M2	CK	V14	3	27.4 b
	EC	V14	1	8.4 d
M3	CK	V14	4	51.2 a
	EC	V14	1	11.3 c

注:不同小写字母表示 P<0.05 水平差异显著。下同。

2.2 密植和乙烯利矮壮素复配剂(EC)对植株和茎秆形态性状的影响

2.2.1 株高、穗位高、重心高度和节间长度 由表 2 可知,在不同种植密度和 EC 处理条件下嫩单 19 的株高、穗位高、穗位系数和重心高度均存在显著差异,并且随着种植密度的增加均呈升高趋势。EC 处理与对照处理相比,显著降低了嫩单 19 地上部第 6 节以下的节间长度,增加了地上部第 7 节以上的节间长度,从而导致株高和穗位系数略降低;穗位高和重心高度显著降低,在 M1、M2、M3 密度条件下 EC 处理后穗位高和重心高度分别比对照降低 9.7%、8.8%、10.4% 和 7.1%、11.0%、10.9%。

处理后茎秆横截面积呈现增加趋势,M1、M2 和 M3 条件下,EC 处理后地上部第 3 节茎秆横截面

积较对照分别增加 24.5%、24.4%和 31.8%；第 13.2%、22.4%和 19.0%。
4 节增加 11.5%、17.1%和 23.3%；第 5 节增加

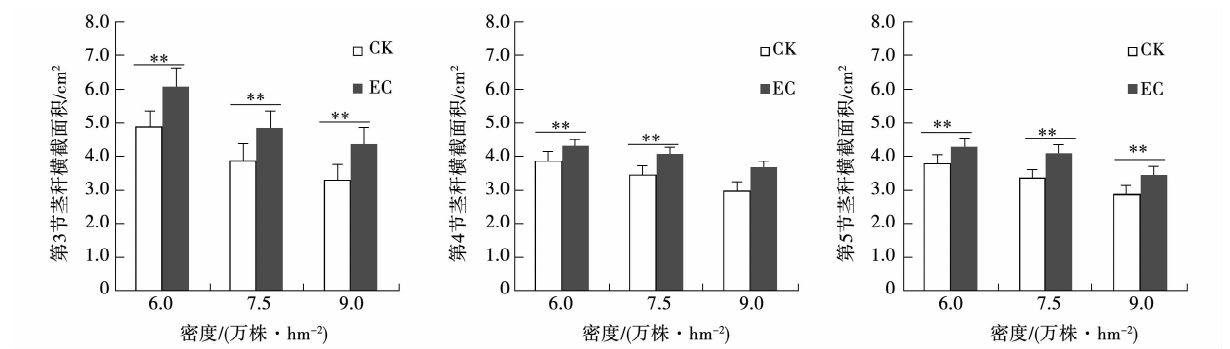


图 1 密植和乙烯利矮壮素复配剂(EC)对嫩单 19 茎秆横截面积的影响
注：* * 表示 EC 和 CK 处理间在 $P<0.01$ 水平差异显著。下同。

2.3 密植和乙烯利矮壮素复配剂(EC)对茎秆抗
倒力学指标的影响

2.3.1 茎秆节间抗折力 由表 3 可知,茎秆抗折力从吐丝期至收获期呈先升高后降低的趋势,在乳熟期达最大值。随种植密度的增加,地上部第 3、第 4 和第 5 节的茎秆抗折力呈降低趋势;不同节间茎秆抗折力表现为地上部第 3 节>第 4 节>

第 5 节;EC 处理较 CK 显著增加了各种种植密度处理下地上部第 3、第 4 和第 5 节茎秆的抗折力。在 M1、M2 和 M3 种植密度条件下,乳熟期 EC 处理后嫩单 19 地上部第 3 节的茎秆抗折力比对照分别增加 17.1%、15.0%和 23.8%;第 4 节增加 9.8%、13.9%和 19.8%;第 5 节增加 22.3%、14.2%和 37.7%。

表 3 密植和乙烯利矮壮素复配剂(EC)对嫩单 19 茎秆节间抗折力的影响 单位: N•mm⁻²

密度	药剂 处理	吐丝期			乳熟期			收获期		
		第 3 节	第 4 节	第 5 节	第 3 节	第 4 节	第 5 节	第 3 节	第 4 节	第 5 节
M1	CK	493.2 b	369.7 b	319.0 b	633.2 b	562.3 b	440.0 b	521.7 b	407.6 b	351.7 b
	EC	607.3 a	461.8 a	404.8 a	741.7 a	617.2 a	538.3 a	612.8 a	497.5 a	441.2 a
M2	CK	347.1 c	265.3 c	232.8 c	528.8 c	445.2 c	363.8 d	443.8 d	255.8 d	246.3 c
	EC	480.8 b	315.8 c	238.3 b	608.3 b	507.3 b	415.3 c	482.3 c	368.8 b	309.9 b
M3	CK	290.6 d	204.2 e	166.4 d	434.6 d	372.8 d	266.5 e	352.9 e	248.0 e	184.9 d
	EC	373.8 c	223.4 d	196.3 c	538.0 c	446.7 c	366.9 d	406.2 d	291.8 c	263.3 c

2.3.2 茎秆外皮穿刺强度 由表 4 可知,EC 处理后显著增加了地上部第 3、第 4 和第 5 节的茎秆外皮穿刺强度。在 M1、M2 和 M3 种植密度条件下,乳熟期各处理经 EC 处理后地上部第 3 节

茎秆外皮穿刺强度比对照分别增加 9.6%、5.3%和 25.7%;第 4 节增加 19.4%、7.3%和 20.2%;第 5 节增加 22.4%、8.0%和 21.7%。

表 4 密植和乙烯利矮壮素复配剂(EC)对嫩单 19 茎秆外皮穿刺强度的影响 单位: N•mm⁻²

密度	药剂 处理	吐丝期			乳熟期			收获期		
		第 3 节	第 4 节	第 5 节	第 3 节	第 4 节	第 5 节	第 3 节	第 4 节	第 5 节
M1	CK	48.2 b	41.8 b	36.5 b	57.5 b	51.0 b	46.0 b	54.2 b	48.2 b	40.8 b
	EC	53.7 a	51.1 a	46.2 a	63.2 a	60.9 a	56.3 a	58.4 a	55.4 a	51.0 a
M2	CK	41.1 c	37.7 c	33.5 c	53.0 b	47.7 c	41.4 c	49.5 c	43.4 c	36.4 c
	EC	46.2 b	42.8 b	36.1 b	55.8 b	51.2 b	44.7 b	51.6 b	46.5 b	40.5 b
M3	CK	32.9 d	29.8 d	23.5 d	40.5 d	37.6 d	34.1 d	38.0 d	34.4 d	30.0 d
	EC	37.5 c	35.6 c	30.8 c	50.9 c	45.2 c	41.5 c	49.4 c	42.8 c	38.1 b

2.4 密植和乙烯利矮壮素复配剂(EC)对玉米产量的影响

由表 5 可知,随着种植密度的增加,穗粒数和百粒重都呈降低趋势。EC 处理后的穗粒数和百粒重比对照有所提高,其中在 M1、M2、M3 密度条件下,EC 处理后穗粒数和百粒重较对照分别提高 3.7%、2.0%、4.0%和 2.5%、2.9%、1.8%。EC 处理后产量较对照增加,在 M3 处理下的产量差异不显著,其余均显著。其中,在 M1、M2 和 M3 种植密度条件下,EC 处理后产量较对照分别提高 415.4、224.9 和 408.3 kg·hm⁻²,增幅为 3.8%、1.9%和 3.3%。

表 5 密植和乙烯利矮壮素复配剂(EC)对嫩单 19 产量及构成因素的影响

密度	药剂处理	穗粒数	百粒重/g	产量/(kg·hm ⁻²)
M1	CK	615.4 a	36.4 b	10904.5 d
	EC	638.2 a	37.3 a	11319.9 c
M2	CK	593.3 c	34.7 d	11811.9 c
	EC	605.4 b	35.7 c	12036.8 b
M3	CK	544.0 e	33.7 e	12241.8 ab
	EC	565.8 d	34.3 d	12650.1 a

3 讨论

倒伏是影响玉米“高产、优质、高效”综合生产目标的重要因素之一。前人研究表明,适当地提高种植密度已经成为玉米高产的关键栽培措施之一^[6-7],但在地力肥沃、极端天气频发和种植密度偏高条件下,茎秆质量变差,增加了玉米倒伏的风险。随种植密度增加,玉米的形态和茎秆抗倒伏能力发生变化,株高增加、茎秆变细、抗折力下降^[8-9]。前人研究发现,乙烯利等激素可提高基部节间横截面积和机械强度,能降低 85%~93%的倒伏率,但减产约 2%~6%^[10]。本研究表明,玉米常发生倒伏的时期为大喇叭口期,随种植密度的增加,玉米倒伏率呈升高趋势。乙烯利矮壮素复配剂(EC)处理显著降低了植株倒伏率,在 M1、M2 和 M3 密度条件下倒伏率分别比对照降低了 56.5%、69.3%和 77.9%。随种植密度增加,穗粒数和百粒重呈降低趋势,EC 处理后穗粒数和百粒重较对照高。EC 处理后产量较对照分别增加,在 M1、M2 和 M3 密度条件下,EC 处理后产量较对照增加 3.8%、1.9%和 3.3%,在 M3 的高密度条件下差异不显著,而在 M1 和 M2 下

的产量差异显著。试验结果表明乙烯利和矮壮素复配剂能降低玉米的倒伏率和增加玉米产量,这与乙烯利和矮壮素协同作用降低了地上部节间中生长素和赤霉素含量,降低了基部节间长度有关^[11]。

玉米植株的抗倒伏能力与株高和茎秆物理性状密切相关。降低株高是解决倒伏问题的重要途径,但株高过低导致玉米整株生物产量不足,从而导致产量的降低^[12]。茎秆抗倒伏能力与株高、重心高度、基部节间长度、节间横截面积(茎粗)等形态性状密切相关^[13]。有研究结果表明,茎粗对植株抗倒力的影响最大,其次为株高,穗位高影响较小^[14]。玉米倒伏率与茎粗呈负相关,与株高、穗位高、节间长、叶夹角呈正相关^[15]。玉米穗位以下茎秆粗细与茎秆强度显著相关,其中第 3 节间与倒伏关系最密切,倒伏率与第 3 节间粗度呈显著负相关^[16]。本研究发现,随种植密度的增加,株高、穗位高、穗位系数和重心高度呈升高趋势。与对照相比,EC 处理后嫩单 19 株高和穗位系数略降低;穗位高和重心高度显著降低。在 M1、M2、M3 密度条件下,EC 处理后嫩单 19 的穗位高和重心高度分别比对照降低 9.7%、8.8%、10.4%和 7.1%、11.0%、10.9%。EC 处理降低了玉米穗位高和重心高度,增强了玉米抗倒伏的能力。

茎秆抗折力是反映茎秆强度的重要力学指标。种植密度过大,玉米基部节间茎秆强度显著降低^[16]。本研究发现,茎秆抗折力和茎秆外皮穿刺强度从吐丝期至收获期呈先升高后降低的趋势,在乳熟期达最大值。不同处理间茎秆抗折力和茎秆外皮穿刺强度均存在极显著差异,随种植密度的增加,地上部第 3、第 4 和第 5 节的茎秆抗折力和茎秆外皮穿刺强度呈降低趋势;不同节间茎秆抗折力和茎秆外皮穿刺强度表现为地上部第 3 节>第 4 节>第 5 节;EC 处理后显著增加了各密度处理下地上部第 3、第 4 和第 5 节的茎秆抗折力和茎秆外皮穿刺强度。这可能是由于 EC 处理在降低玉米基部节间茎粗的同时,增加了茎秆木质素、纤维素和可溶性糖等的积累,具体情况有待进一步研究。

4 结论

随着玉米种植密度的增大,玉米株高均有所增加,重心高度上移,基部节间伸长,抗折力下降。乙烯利和矮壮素复配剂(EC)处理显著降低了地

上部第 6 节以下的节间长度,显著增加了地上部第 7 节以上的节间长度,从而使株高略降低,而重心高度和穗位高显著降低,基部节间长度缩短,茎秆抗折力和茎秆外皮穿刺强度增强,从而提高了茎秆的抗倒伏能力。因此,在种植密度偏大、过度施用氮肥和极端天气频发等易导致玉米倒伏发生的情况下,适期喷施玉米抗倒调节剂可降低倒伏率,增加穗粒数和百粒重,进而保障玉米产量。

参考文献:

[1] 赵久然,王荣焕.中国玉米生产发展历程、存在问题及对策[J].中国农业科技导报,2013,15(3):1-6.
[2] 白永新,张润生,李鹏,等.玉米品种抗倒伏关联特性的鉴定[J].山西农业科学,2016,44(11):1592-1596.
[3] 卫晓轶,张明才,李召虎,等.不同基因型玉米对乙烯利调控反应敏感性的差异[J].作物学报,2011,37(10):1819-1827.
[4] 董学会,段留生,孟繁林,等.30%已·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.
[5] 张倩,张海燕,谭伟明,等.30%矮壮素·烯效唑微乳剂对水稻抗倒伏性状及产量的影响[J].农药学报,2011,13(2):144-148.
[6] 杨锦忠,陈明利,张洪生.中国 1950s 到 2000s 玉米产量-密度关系的 Meta 分析[J].中国农业科学,2013,46(17):

3562-3570.

[7] 王楷,王克如,王永宏,等.密度对玉米产量($>15\ 000\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)及其产量构成因子的影响[J].中国农业科学,2012,45(16):3437-3445.
[8] 卢霖,董志强,董学瑞,等.乙矮合剂对不同密度夏玉米茎秆抗倒伏能力及产量的影响[J].作物杂志,2015(2):70-77.
[9] 张洪生,赵明,吴沛波,等.种植密度对玉米茎秆和穗部性状的影响[J].玉米科学,2009,17(5):130-133.
[10] 叶德练,王庆燕,张钰石,等.乙烯利和氮肥对玉米基部节间性状和抗折断力的调控研究[J].中国农业大学学报,2015,20(6):1-8.
[11] 张子学,朱仕燕,李文阳,等.化控剂-乙烯利对玉米植株主要性状和产量的影响[J].中国农学通报,2014,30(3):209-213.
[12] 薛珠政,卢和顶,林建新,等.种植密度对玉米单株和群体效应的影响[J].玉米科学,1999,7(2):52-54.
[13] 李宁,李建民,翟志席,等.化控技术对玉米植株抗倒伏性状农艺性状及产量的影响[J].玉米科学,2010,18(6):38-42.
[14] 马延华,孙德全,李绥艳,等.玉米乳熟期茎秆木质素含量的遗传分析[J].玉米科学,2016,21(1):19-23.
[15] 王永学,张战辉,刘宗华.玉米抗倒伏性状的配合力效应及通径分析[J].河南农业大学学报,2011,45(1):1-6.
[16] 丰光,黄长玲,邢锦丰.玉米抗倒伏的研究进展[J].作物杂志,2008(4):12-14.

Effects of Planting Density and Growth Regulators on Stem Characters of Nendan 19

ZHOU Chao¹, WANG Jun-qiang¹, HAN Ye-hui¹, XU Jian¹, XU Ting¹, DONG Yang¹, CHAI Li-li¹, DING Xin-ying²

(1. Qiqihar Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar 161006, China; 2. Animal Husbandry and Veterinary Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar 161006, China)

Abstract: In order to clarify the effects of planting density and plant growth regulators on the stalk traits of maize variety Nendan 19, in this study, the maize variety Nendan 19 was selected, and 3 density levels were set and etheph on two treatments of meridian compound (EC) and spraying clear water (CK) were used to study the effects of plant growth regulators and planting density on the stem traits of Nendan 19. The results showed that with the increase of planting density, the plant height of maize increased, the height of the gravity center moved up, the elongation of the basal internodes, the fullness of the basal internodes and the bending resistance decreased. EC treatment significantly decreased the length of internodes below the sixth node above the shoot, significantly increased the length of the internode above the seventh node above the shoot, slightly decreased the plant height, significantly decreased the height of the center of gravity and the height of the ear, and shortened the length of the basal internode. Thus, the lodging resistance of the stem was improved. It could be seen that under the conditions of high lodging risk such as frequent wind disaster lodging and excessive planting density, spraying plant growth regulators could significantly increase the flexural strength of corn stalks and the puncture strength of stem outer skins, and significantly reduce the ear position, gravity center height and lodging rate were conducive to high and stable maize yield.

Keywords: maize; stalk traits; planting density; plant growth regulator