

玉黄金化控对密植玉米茎秆及产量性状的影响

苏玉杰, 杨美丽, 鹿红卫, 程建梅, 赵树政, 王帮太, 秦贵文, 张晓春

(鹤壁市农业科学院, 河南 鹤壁 458031)

摘要:为研究化控剂对密植玉米品种植株茎秆及产量性状的影响, 试验以高产玉米新品种永优 1583 为研究材料, 拔节期喷施 1.5 mL/L 化控剂玉黄金 30 L/hm², 以喷施相同量的清水作为对照(CK), 分别于大喇叭口期、灌浆期调查玉米植株生理、生态和产量性状指标。结果表明, 玉黄金处理能使密植玉米植株穗位降低、地上第 3 节和穗位节茎秆节间缩短、植株干物质产量增加, 其抗倒性能增强。使用玉黄金化控可以使玉米植株的地上 3 节和穗位节茎秆变粗、单株叶面积减少、植株叶片的叶绿素含量增加, 以上均有利于植株光合产物的吸收和营养物质的输送。在产量性状方面, 使用化控剂可以显著增加玉米品种的穗长、穗粗、穗粒数和百粒质量, 与对照相比, 2022 年和 2023 年玉黄金处理的玉米产量分别增加了 1 121.55、1 028.64 kg/hm², 增产幅度分别达到了 9.36% 和 8.5%, 差异达极显著水平。综上, 拔节期喷施化控剂玉黄金可以优化玉米植株生长指标、增强茎秆抗倒性能、提高产量性状指标等, 增加密植条件下品种适应性, 最终实现玉米品种的高效增产。

关键词: 玉米; 化控剂; 玉黄金; 茎秆; 产量性状

中图分类号: S513

文献标识码: A

文章编号: 1002-2481(2024)05-0085-06

Effects of Chemical Control of Yuhuangjin on Plant Stalk and Yield Traits of Densely Planted Maize Varieties

SU Yujie, YANG Meili, LU Hongwei, CHENG Jianmei, ZHAO Shuzheng,

WANG Bangtai, QIN Guiwen, ZHANG Xiaochun

(Hebi Academy of Agricultural Sciences, Hebi 458031, China)

Abstract: In order to study the effects of chemical control agents on plant stalk and yield traits of densely planted maize varieties, in this study, a new maize variety Yongyou 1583 with high yield was used as the research material, and a chemical control agent Yuhuangjin was sprayed at jointing stage to investigate the physiological, ecological and yield traits of maize plants at trumpet stage and filling stage respectively, the same amount of water sprayed was used as a control(CK). The results showed that Yuhuangjin treatment could lower the ear position, shorten the stalk internode between the 3rd and ear position node, increase the dry matter yield and lodging resistance. The use of Yuhuangjin control could make the stalks of 3 aboveground nodes and ear nodes thicker, the leaf area per plant decreased, and the chlorophyll content of plant leaves increased, which was conducive to the absorption of photosynthetic products and the transport of nutrients. In terms of yield traits, the use of chemical control agents could significantly increase the ear length, ear thickness, grain number per ear and 100 seed weight of the maize variety. Compared with the water control, the yield of the maize variety treated with Yuhuangjin in 2022 and 2023 increased by 1 121.55 and 1 028.64 kg/ha, respectively, the increase in yield reached 9.36% and 8.5%, respectively, with significant differences. Therefore, the chemical control agent Yuhuangjin could optimize the maize plant growth index, enhance the lodging resistance of the stalk, improve the yield trait index, increase the variety adaptability under dense planting conditions, and finally realize the efficient yield increase of maize varieties.

Key words: maize; chemical control agent; Yuhuangjin; stalk; yield trait

玉米作为全国重要的粮食作物之一, 市场需求逐年上升, 对玉米产量的要求提高。玉米高产首先取决于稳定的品种特性, 其次通过增密来实现, 但种植密度增加会导致玉米株高增加、茎秆变细, 植株

通透性、光合能力下降, 使其抗倒能力减弱, 最终导致减产^[1-3]。有研究表明, 化学调控玉米可以获得理想株型结构, 改善密植玉米田间的通风透光条件, 增强叶片持绿性, 防止倒伏倒折, 最终实现高产^[4-6]。

收稿日期: 2023-12-18

基金项目: 河南省科技攻关项目(222102110475)

作者简介: 苏玉杰(1978-), 男, 河南浚县人, 副研究员, 硕士, 主要从事玉米抗病种质创新及新品种选育研究工作。

通信作者: 张晓春(1980-), 女, 河南巩义人, 副研究员, 主要从事玉米遗传育种研究工作。

玉黄金是专门针对玉米研制的植物生长调节剂,由胺鲜酯和乙烯利复配而成,其中胺鲜酯是具有生物活性的化合物,通过影响细胞中核酸和蛋白质含量,进而增强抗氧化酶活性,可有效提高玉米植株抗倒伏能力^[7]。董学会等^[8-9]研究发现,30%的玉黄金喷施玉米可降低玉米株高、穗位高,使穗下节间变短增粗,增加节间干物质质量,同时增加叶绿素 SPAD 值,促进光合产物合理分配,增加籽粒产量。还有研究表明,玉黄金能显著增加茎节间穿刺强度、抗折断力,提高茎秆对穗部性状和籽粒产量的贡献率^[10-11]。

河南省豫北地区作为黄淮海夏玉米高产区,高产玉米品种在本区域玉米生产中占据重要地位。为寻找适合本区域种植的高产玉米品种,在增密的同时提高抗倒伏能力,本试验以高产玉米新品种永优 1583 为试验材料,研究喷施化控剂玉黄金对密植条件下玉米植株生理、生态和产量性状指标的影响,以期为豫北地区高产玉米品种适应性及化控抗倒伏栽培技术提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

本试验于 2022—2023 年连续 2 a 在鹤壁市农业科学院试验基地淇滨区钜桥镇刘寨村(114.296E, 35.741N)进行。该地位于鹤壁市中部,属于暖温带半湿润气候,四季分明,光照充足,年平均气温 14.2~15.5℃,无霜期 215 d,年日照时数 1 787.2~2 566.4 h,年降水量 349.2~970.1 mm,6—9 月降水量占全年总降水量的 80%~85%。该试验地土壤类型为褐土,0~20 cm 有机质含量 20.42 g/kg,全氮含量 1.49 g/kg,速效磷含量 8.96 mg/kg,速效钾含量 73.68 mg/kg。

1.2 试验材料

供试玉米品种为永优 1583,由鹤壁市农业科学院选育,于 2020 年通过国家审定。该品种耐密植、品质优、抗逆性强、产量高。玉黄金(EDAH)由当地农资市场购买,由山西浩之大生物科技有限公司生产。

1.3 试验方法

试验在 2022 年和 2023 年进行,播期分别为 2022 年 6 月 12 日和 2023 年 6 月 17 日。采用随机区组试验设计,小区面积 60 m²,10 行区,行距 0.6 m,行长 10 m,3 次重复,种植密度 8.25 万株/hm²。参照王英华等^[12]的方法,在玉米拔节期,每小区喷施 1.5 mL/L 玉黄金,喷施量 30 L/hm²,喷清水作为对

照(CK)。使用背负式电动恒压喷雾器均匀地喷洒在叶片表面,确保每个叶片都能喷到。田间管理措施与大田高产管理方式相同。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 植株生长指标测定 分别在大喇叭口期、灌浆期(吐丝后 20 d),选取每个处理中间行,从第 3 株开始连续测量 5 株的株高、穗位高;参照刘笑鸣等^[13]的方法,采用长宽系数法分别测定 5 株所有叶片后计算单株叶面积;用手持式 SPAD-502 叶绿素仪测定 5 株穗位叶相对叶绿素含量(SPAD)。

$$\text{单株叶面积} = \sum(\text{叶长} \times \text{叶宽}) \times 0.75 \quad (1)$$

1.4.2 茎秆力学特征测定 参照王英华等^[12]的方法分别在大喇叭口期和灌浆期从每个处理中间行连续选取有代表性的 3 株从地面处切割,将整株带回实验室,分别测定植株重心高度、单株鲜质量。随后将植株地上 3 节、穗位节切下,用游标卡尺测定地上 3 节、穗位节的节间长和节间直径,用手持式茎秆强度测定仪测定地上 3 节、穗位节的穿刺强度、压碎强度。最后将测定后的植株茎秆、茎节放入 75℃ 恒温干燥箱中烘干至恒质量后,称取各部分干物质质量,计算地上 3 节、穗位节的单位长度干质量。

$$\text{单位长度干质量(g/cm)} = \frac{\text{节间干质量}}{\text{节间长度}} \quad (2)$$

1.4.3 产量性状测定 玉米成熟后,每个处理收获中间 3 行进行测产,称取收获果穗鲜质量,按照平均穗质量选取 10 个均匀标准果穗自然晾干后进行室内考种,测定穗长、穗粗、穗行数、行粒数、百粒质量、籽粒水分等指标,并按 14% 的标准含水量计算理论产量。

1.5 数据分析

采用 Microsoft Excel 2021 进行数据整理,用 SPSS 22.0 进行方差分析、相关分析等,使用 Origin 2018 作图。

2 结果与分析

2.1 玉黄金对玉米植株生长性状的影响

从表 1 可以看出,玉黄金处理能够改变玉米植株各项生长指标。玉黄金处理后大喇叭口期的株高、地上 3 节直径变化不明显;与 CK 相比,2022、2023 年,灌浆期株高分别降低了 7.34 cm 和 7.23 cm,地上 3 节直径则分别增加了 0.28 cm 和 0.23 cm。与 CK 相比,2022、2023 年,玉黄金处理后,大喇叭口期的单株干物质质量分别增加了 10.44 g 和 7.27 g,灌

浆期的单株干物质量分别增加了17.53 g和33.12 g, 年份间、处理间差异极显著($P<0.01$)。与CK相比,玉黄金处理能显著降低穗位高和重心高度($P<$

0.05),2022年,玉黄金处理使玉米穗位高、重心高度分别降低了8.55、4.99 cm;2023年,玉黄金处理使玉米穗位高、重心高度分别降低了6.00、6.48 cm。

表1 玉黄金处理对玉米植株生长指标的影响
Tab.1 Effects of Yuhuangjin treatment on growth indexes of maize plants

年份 Year	处理 Treatment	株高/cm Plant height		地上3节直径/cm The 3rd diameter		单株干物质量/g Dry weight of single plant		穗位高/cm Ear position height	重心高度/cm Center of gravity height
		大喇叭口期 Trumpet stage	灌浆期 Filling stage	大喇叭口期 Trumpet stage	灌浆期 Filling stage	大喇叭口期 Trumpet stage	灌浆期 Filling stage		
		2022年	EDAH	172.55a	295.55b	2.257bc	2.57ab		
	CK	176.66a	302.89a	2.213c	2.29c	79.00b	130.99d	114.44a	100.24a
2023年	EDAH	165.22b	297.77b	2.447a	2.68a	91.41a	205.03a	97.22c	88.50c
	CK	170.55ab	305.00a	2.349ab	2.45bc	82.14b	171.91b	103.22bc	94.98b
方差分析 Variance analysis	年份	*	ns	**	ns	ns	**	**	**
	处理	ns	**	ns	**	*	**	**	**

注:不同小写字母表示不同处理间在0.05水平差异显著。下表同。*和**分别表示在0.05、0.01水平上差异显著,ns表示差异不显著。表3、4同。

Note: Different lowercase letters indicated significant differences among different treatments($P<0.05$). The same as below. * and ** indicated significant difference at the 0.05 and 0.01 levels, respectively. ns indicated the difference was not significant. The same as Tab.3, 4.

2.2 玉黄金对灌浆期玉米植株茎秆性状的影响

从表2可以看出,玉黄金处理使灌浆期玉米植株茎秆力学各指标均有差异。2 a试验中,与CK相比,玉黄金处理使玉米植株地上3节和穗位节茎秆长度均缩短,2022年分别缩短10.27%和4.66%,2023年分别缩短7.06%和3.33%。玉黄金处理后显著增加了地上3节的茎秆穿刺强度、压碎强度和

单位长度干质量($P<0.05$),2022年较CK分别增加10.06%、11.34%和30.23%,2023年较CK分别增加8.77%、17.53%和18.75%。玉黄金处理后玉米穗位节茎秆力学指标均显著增加($P<0.05$),综合2 a试验,穗位节单位长度干质量、穿刺强度和压碎强度较CK分别增加15.48%、10.28%和8.99%。

表2 玉黄金对灌浆期玉米植株茎秆力学指标的影响
Tab.2 Effects of Yuhuangjin on stalk mechanical indexes of maize plants at filling stage

年份 Year	处理 Treatment	地上3节 长/cm	3节穿刺强 度/(N/mm ²)	3节压碎强 度/(N/mm ²)	3节单位长度干 质量/(g/cm)	穗位节长/ cm	穗位节单位长度 干质量/(g/cm)	穗位节穿刺强 度/(N/mm ²)	穗位节压碎强 度/(N/mm ²)
		The 3rd node length	The 3rd node penetration strength	The 3rd node crushing strength	Dry weight per unit length in the 3rd node	Node length in ear position	Dry weight per unit length in ear position node	Penetration strength of ear position node	Crushing strength of ear position node
2022	EDAH	12.05b	60.95b	314.26b	0.56c	15.74ab	0.42b	42.32c	209.42b
	CK	13.43a	55.38b	282.51c	0.43d	16.51a	0.36c	37.91d	193.40b
2023	EDAH	12.11b	80.48a	361.96a	0.76a	15.22b	0.55a	54.63a	229.90a
	CK	13.03a	73.99a	307.97bc	0.64b	15.74ab	0.48b	50.00b	209.66b
方差分析 Variance analysis	年份	ns	***	**	***	*	***	***	*
	处理	**	*	**	***	*	**	**	*

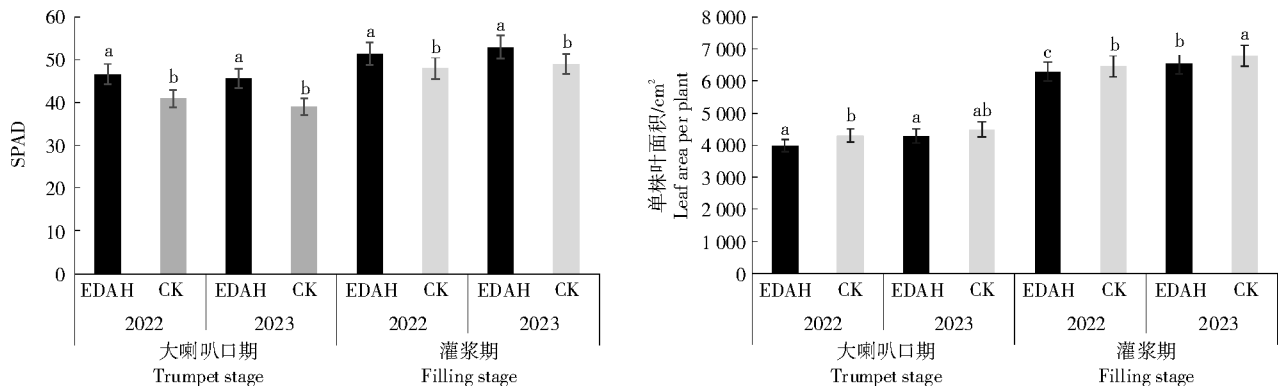
注: *、**和***分别表示在0.05、0.01、0.001水平上差异显著,ns表示差异不显著。

Note: **and *** indicated significant difference at the 0.05, 0.01, 0.001 levels, respectively, ns indicated the difference was not significant.

2.3 玉黄金对玉米植株叶绿素含量和单株叶面积的影响

玉黄金处理可以显著增加玉米植株相对叶绿素含量、降低单株叶面积(图1)。大喇叭口期玉米穗位叶的SPAD较CK在2022年和2023年分别增加了13.9%和17.06%;灌浆期玉米穗位叶SPAD

较CK在2022年和2023年分别增加了7.05%和8.10%。玉黄金处理使2022年单株叶面积在大喇叭口期和灌浆期分别较CK减少了7.21%和2.61%;2023年使单株叶面积在大喇叭口期和灌浆期分别较CK增加了4.50%和3.75%。以上处理间差异均达极显著水平($P<0.01$),年份间差异不显著。



不同小写字母表示不同处理间在 0.05 水平差异显著
Different lowercase letters indicated significant differences among different treatments ($P < 0.05$)

图 1 玉黄金对玉米植株叶绿素含量和叶面积的影响
Fig.1 Effects of Yuhuangjin on on chlorophyll content and leaf area of maize plants

2.4 玉黄金处理对玉米穗部性状和产量的影响

2 a 试验结果表明(表 3),玉黄金处理显著影响玉米穗部性状和产量。玉黄金处理使玉米穗长、穗粗、行粒数和百粒质量较 CK 显著增加 ($P < 0.05$),穗行数差异不显著。2022 年,玉黄金处理使玉米穗长、穗粗、行粒数和百粒质量分别较 CK 增加

2.69%、2.2%、5.59% 和 5.58%;2023 年,玉黄金处理使玉米穗长、穗粗、行粒数和百粒质量分别较 CK 增加 2.32%、3.89%、4.19% 和 5.66%。与清水对照相比,2022 年和 2023 年玉黄金处理的玉米产量分别增加了 1 121.55、1 028.64 kg/hm²,增产幅度分别达到了 9.36% 和 8.5%。

表 3 玉黄金对玉米产量指标的影响
Tab.3 Influence of Yuhuangjin on maize yield index

年份 Year	处理 Treatment	穗长/cm Ear length	穗粗/cm Ear diameter	穗行数 Rows per ear	行粒数 Grains per row	百粒质量/g 100-seed weight	产量/(kg/hm ²) Yield
2022	EDAH	16.80ab	5.11b	17.00a	32.66a	37.83ab	13 100.10a
	CK	16.36b	5.00b	16.83a	30.93b	35.83b	11 978.55b
2023	EDAH	17.60a	5.33a	17.23a	33.06a	39.73a	13 130.44a
	CK	17.20ab	5.13b	17.00a	31.73ab	37.60ab	12 101.80b
方差分析 Variance analysis	年份	*	**	ns	ns	*	ns
	处理	ns	**	ns	*	*	**

2.5 玉米植株茎秆性状与产量的相关性分析

相关(表 4)。

玉米植株茎秆性状与其抗倒性状、产量均显著

表 4 玉米植株茎秆性状与产量的相关性
Tab.4 The correlation between stalk traits and yield of maize plants

指标 Index	株高 Plant height	穗位高 Ear position height	重心高度 Center of gravity height	节间长 Inter-nodal length	节间直径 Inter-nodal diameter	茎秆穿刺强度 Stalk penetration strength	茎秆压碎强度 Stalk crushing strength	茎秆单位长度干质量 Dry weight per unit length in stalk
穗位高 Ear position height	0.44	1						
重心高度 Center of gravity height	0.64	0.66	1					
茎长 Stem length	0.72	0.82*	0.91**	1				
茎粗 Stem diameter	-0.61	-0.78*	-0.93**	-0.85*	1			
茎秆穿刺强度 Stalk penetration strength	-0.48	-0.76*	-0.94**	-0.87*	0.96**	1		
茎秆压碎强度 Stalk crushing strength	-0.64	-0.93**	-0.84*	-0.96**	0.89**	0.89**	1	
茎秆单位长度干质量 Dry weight per unit length in stalk	-0.80*	-0.70	-0.94**	-0.95**	0.91**	0.91**	0.91**	1
产量 Yield	-0.83*	-0.57	-0.94**	-0.91**	0.86*	0.85*	0.82*	0.98**

由表4可知,株高、穗位高、重心高度、茎长与茎秆穿刺强度、茎秆压碎强度以及茎秆单位长度干质量均呈负相关,茎粗与茎秆穿刺强度、茎秆压碎强度和茎秆单位长度干质量均呈显著或极显著正相关,相关系数分别为0.96、0.89、0.91、0.86。产量与株高、穗位高、重心高度和茎长均呈显著或极显著负相关,与地上3节和穗位节平均茎粗、茎秆穿刺强度、茎秆压碎强度、茎秆单位长度干质量呈显著或极显著正相关,其中产量与茎秆单位长度干质量的相关系数达到0.98。

3 结论与讨论

玉米高产主要通过增加群体密度来实现,但种植密度增加会使玉米倒伏率增加。勾玲等^[14]研究表明,增密使玉米植株节间变长,茎秆抗拉强度、节间直径、干物质质量显著降低。而化控剂在缩短玉米节间长度、降低重心、增加茎粗和产量上具有良好效果^[15]。王晓燕等^[16]研究表明,化控剂是塑造理想株型、改善田间通风透光条件、提高光合性能的有效途径,有利于解决玉米高密度栽培下空秆率、倒伏率增加的问题。有研究表明,玉黄金在降低株高、穗位高,提高抗逆性、增加产量等方面效果显著^[17-18]。研究还发现,玉米穗位叶是产量形成的关键器官,玉黄金处理通过改善玉米穗位冠层结构,以增加穗位叶的相对叶绿素含量来实现增产^[12,19]。本研究中,喷施玉黄金能显著降低密植玉米品种的株高、穗位高和重心高度,同时大喇叭口期、灌浆期的单株叶面积减小,叶绿素含量和单株干物质质量均显著增加,这与大多数的研究结果是一致的。

玉米基部节间质量对玉米抗倒伏性能的形成至关重要,拔节至大喇叭口期是影响玉米茎秆强度发育的关键时期^[20-21]。拔节期喷施玉黄金,能有效地调节玉米植株冠层结构,调控生长发育进程,为灌浆期干物质有效积累提供保障。杨振芳等^[22]研究发现,玉黄金处理后玉米基部第3节的单位长度干物质和穿刺强度都有显著上升。樊海潮等^[23]研究表明,喷施玉黄金后,玉米基部节间穿刺强度、压折强度、单位长度干质量及茎秆结构性化合物含量均显著增加。本研究结果表明,玉黄金处理密植玉米品种的地上3节、穗位节节间均显著缩短增粗,其茎节穿刺强度、压碎强度及单位长度干物质含量均显著增加,增幅达8.77%~30.23%。

喷施玉黄金使玉米产量提高是通过穗长、穗粗、穗粒数和百粒质量增加共同实现的^[10,24]。本研

究2a的试验结果表明,玉黄金处理后的穗粗、行粒数、百粒质量显著增加,平均产量增幅达8.93%,差异极显著;同时产量与株高、穗位、节间长、重心高度呈显著负相关,与茎粗、茎秆穿刺强度、压碎强度、单位节间干物质质量呈极显著正相关。以往相关研究指出,产量的提高一方面得益于植株生长指标的优化,另一方面得益于茎秆抗倒性能的增强^[25-26]。玉米拔节期喷施的玉黄金被植株吸收后,其株型结构得到优化,株高、穗位、重心高度和单株叶面积显著降低;茎粗、茎秆抗倒性状和干物质质量显著增加,最终实现产量增加。玉黄金调控可以有效增加密植条件下玉米品种的增产潜力,后续还需要设置不同密度梯度,研究玉黄金处理对不同类型高产玉米的调控机制。

本研究表明,化控剂玉黄金处理密植玉米品种后,其穗位降低、节间缩短、干物质质量增加,抗倒性能增强;其茎秆变粗、叶面积减少、叶绿素含量增加,利于光合产物的吸收和营养物质的输送;其穗长、穗粗、穗粒数和百粒质量显著增加,最终获得13 115 kg/hm²的产量。因此,化控剂可以优化玉米植株生长指标,增强茎秆抗倒性能,提高产量性状指标等,提高增密条件下玉米品种的环境适应性,最终实现高产玉米品种高效增产。

参考文献:

- [1] TOLLENAAR M, LEE E A. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize[J]. *Field Crops Research*, 2002, 75(2/3): 161-169.
- [2] 王晓波, 齐华, 赵明, 等. 东北春玉米密植群体种植方式产量性能效应研究[J]. *玉米科学*, 2011, 19(2): 84-89, 94.
WANG X B, QI H, ZHAO M, et al. Study on yield effects of different groups with different planting modes in spring maize in northeast of China[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2011, 19(2): 84-89, 94.
- [3] 曹彩云, 李伟, 党红凯, 等. 不同种植密度对夏玉米产量、产量性状及群体光合特性的影响研究[J]. *华北农学报*, 2013, 28(S1): 161-166.
CAO C Y, LI W, DANG H K, et al. Effects of different planting density on yield, yield characters and photosynthetic characteristics of summer maize[J]. *Acta Agriculturae Boreali Sinica*, 2013, 28(S1): 161-166.
- [4] 边大红, 张瑞栋, 段留生, 等. 局部化控夏玉米冠层结构、荧光特性及产量研究[J]. *华北农学报*, 2011, 26(3): 139-145.
BIAN D H, ZHANG R D, DUAN L S, et al. Effects of partial spraying of plant growth regulator on canopy structure, chlorophyll fluorescence characteristic and yield of summer maize (*Zea mays* L.) [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2011, 26(3): 139-145.
- [5] 孟祥盟, 孙宁, 边少锋, 等. 化控技术对春玉米农艺性状及光合性能的影响[J]. *玉米科学*, 2014, 22(4): 78-83.

- MENG X M, SUN N, BIAN S F, et al. Effects of chemical control technology on agronomic characters and photosynthetic capacity of spring maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2014, 22(4):78-83.
- [6] 李艳杰. 植物生长调节剂在玉米上的增产效果试验初报[J]. *玉米科学*, 2006, 14(1):132-133.
LI Y J. Effects of plant growth regulators on maize yield[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2006, 14(1):132-133.
- [7] 王昕. 乙烯利-胺鲜酯(玉黄金)对春玉米不同器官的调节效应[D]. 武汉:华中农业大学, 2019.
WANG X. Regulating effects of ethephon and diethyl aminoethyl hexanoate(EDAH) on different organs of spring maize[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2019.
- [8] 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, 143.
DONG X H, DUAN L S, MENG F L, et al. Effects of spraying 30% DTA-6. ethephon solution on yield and straw quality of maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2006, 14(1):138-140, 143.
- [9] 董学会, 李建民, 何钟佩, 等. 30% 已乙水剂对玉米叶片光合酶活性与同化物分配的影响[J]. *玉米科学*, 2006, 14(4):93-96.
DONG X H, LI J M, HE Z P, et al. Effects of 30% Hex-ethyl-aqua on photosynthetic enzyme activities and assimilation distribution in maize plants[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2006, 14(4):93-96.
- [10] 魏混, 杨振芳, 顾万荣, 等. 化控剂玉黄金对玉米品种东农 253 穗部和抗倒性影响[J]. *东北农业大学学报*, 2015, 46(12):1-7, 15.
WEI S, YANG Z F, GU W R, et al. Effect of chemical regulator of Yuhuangjin on panicle traits and lodging features of maize Dongnong 253[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2015, 46(12):1-7, 15.
- [11] 田再民, 黄智鸿, 赵海超, 等. 玉黄金化控对不同种植密度下玉米抗倒伏性和产量构成因素的影响[J]. *河北农业科学*, 2019, 23(5):51-55, 82.
TIAN Z M, HUANG Z H, ZHAO H C, et al. Effects of chemical control with 30% diethyl aminoethyl hexanoate·ethephon AS on lodging resistance and yield components of maize under different planting densities[J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2019, 23(5):51-55, 82.
- [12] 王英华, 盛中飞, 曲树杰, 等. 喷施“玉黄金”对夏玉米抗倒伏性能和产量的影响[J]. *玉米科学*, 2021, 29(6):83-89.
WANG Y H, SHENG Z F, QU S J, et al. Effect of spraying EDAH on maize lodging resistance and grain yield[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2021, 29(6):83-89.
- [13] 刘笑鸣, 顾万荣, 李彩凤, 等. 高密度种植下氮肥和化控措施对春玉米茎秆性状及产量的影响[J]. *生态学杂志*, 2019, 38(2):450-458.
LIU X M, GU W R, LI C F, et al. Effects of nitrogen fertilization and chemical control on stalk traits and yield of spring maize under super high planting density in Heilongjiang province[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, 38(2):450-458.
- [14] 勾玲, 黄建军, 张宾, 等. 群体密度对玉米茎秆抗倒力学和农艺性状的影响[J]. *作物学报*, 2007, 33(10):1688-1695.
GOU L, HUANG J J, ZHANG B, et al. Effects of population density on stalk lodging resistant mechanism and agronomic characteristics of maize[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2007, 33(10):1688-1695.
- [15] 史磊, 尤丹, 肖万欣, 等. 化控剂对玉米光合作用、农艺性状和产量的影响[J]. *玉米科学*, 2014, 22(5):59-63, 70.
SHI L, YOU D, XIAO W X, et al. Effects of chemical regulators on photosynthetic characters, agronomic characters and yield characters of maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2014, 22(5):59-63, 70.
- [16] 王晓燕, 李书境, 谭井林, 等. 玉米化控技术要点[J]. *吉林农业*, 2010(12):139.
WANG X Y, LI S J, TAN J L, et al. Key points of corn chemical control technology[J]. *Jilin Agriculture*, 2010(12):139.
- [17] 刘学生, 高凤文, 赵凤民, 等. 保水剂对玉米产量性状和产量的影响[J]. *东北农业大学学报*, 2006, 37(2):151-154.
LIU X S, GAO F W, ZHAO F M, et al. Effects of super absorbent polymer on corn yield and yield constituent factors[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2006, 37(2):151-154.
- [18] 董志强, 马兴林, 王庆祥, 等. 喷施玉黄金对玉米产量的影响[J]. *玉米科学*, 2008, 16(2):91-93.
DONG Z Q, MA X L, WANG Q X, et al. Effects of spraying yu-Huang-Jin on maize yield[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2008, 16(2):91-93.
- [19] ZHANG Q, ZHANG L Z, CHAI M Z, et al. Use of EDAH improves maize morphological and mechanical traits related to lodging[J]. *Agronomy Journal*, 2019, 111(2):581-591.
- [20] 徐田军, 吕天放, 陈传永, 等. 种植密度和植物生长调节剂对玉米茎秆性状的影响及调控[J]. *中国农业科学*, 2019, 52(4):629-638.
XU T J, LÜ T F, CHEN C Y, et al. Effects of plant density and plant growth regulator on stalk traits of maize and their regulation[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(4):629-638.
- [21] XUE J, ZHAO Y S, GOU L, et al. How high plant density of maize affects basal internode development and strength formation[J]. *Crop Science*, 2016b, 56(6):3295-3306.
- [22] 杨振芳, 孟瑶, 顾万荣, 等. 化控和密度措施对东北春玉米叶片衰老及产量的影响[J]. *华北农学报*, 2015, 30(4):117-125.
YANG Z F, MENG Y, GU W R, et al. Effect of chemical regulation and density on spring maize leaf senescence and yield in Northeast China[J]. *Acta Agriculture Boreali Sinica*, 2015, 30(4):117-125.
- [23] 樊海潮, 顾万荣, 杨德光, 等. 化控剂对东北春玉米茎秆理化特性及抗倒伏的影响[J]. *作物学报*, 2018, 44(6):909-919.
FAN H C, GU W R, YANG D G, et al. Effect of chemical regulators on physical and chemical properties and lodging resistance of spring maize stem in Northeast China[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2018, 44(6):909-919.
- [24] 席凯鹏, 席吉龙, 杨娜, 等. 玉黄金化控对玉米抗倒性及产量的影响[J]. *山西农业科学*, 2017, 45(6):993-995.
XI K P, XI J L, YANG N, et al. Effects of chemical control of jade gold on lodging resistance and yield of maize[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2017, 45(6):993-995.
- [25] SUBEDI K D, MA B L. Ear position, leaf area, and contribution of individual leaves to grain yield in conventional and leafy maize hybrids[J]. *Crop Science*, 2005, 45(6):2246-2257.
- [26] XU C L, GAO Y B, TIAN B J, et al. Effects of EDAH, a novel plant growth regulator, on mechanical strength, stalk vascular bundles and grain yield of summer maize at high densities[J]. *Field Crops Research*, 2017, 200:71-79.