

# 化控对高密度春玉米抗倒伏能力及产量的影响

刘志铭<sup>1</sup>, 盖旭东<sup>2</sup>, 李宝玉<sup>3</sup>, 兰天娇<sup>1</sup>, 孙宝龙<sup>1</sup>, 吕艳杰<sup>1</sup>

(1. 吉林省农业科学院农业资源与环境研究所, 长春 130033; 2. 吉林吉农高新技术发展股份有限公司, 吉林 公主岭 136100; 3. 吉林省梅河口市吉乐农业技术推广站, 吉林 梅河口 135025)

**摘要:**为研究化控措施对玉米高密度种植下抗倒伏能力的影响,明确化控剂调控茎秆抗倒伏能力的机制,以先玉335为试验材料,分别在玉米6叶期喷施玉黄金、吨田宝和壮丰灵,分析了玉米生长过程中农艺性状,茎秆力学特征,茎秆和根系纤维素、半纤维素、木质素含量以及干物质积累和产量。结果表明,玉黄金、吨田宝和壮丰灵均显著降低了玉米株高、穗位高和重心高度,增加了第3节间茎粗,倒伏率显著下降,茎秆穿刺强度和弯折强度分别增加了8.1%~23.3%和7.8%~21.2%,茎秆和根系木质素含量显著增加,产量增加了7.1%~11.6%,化控主要通过降低了玉米株高、穗位高,进而降低重心高度,同时增加茎秆的直径,增加茎秆木质素含量,提高了茎秆力学特征,从而降低倒伏率,增加了玉米产量。

**关键词:**玉米;化控;抗倒伏

中图分类号:S513

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2019)06-0001-05

## Effect of Chemical Regulators on Lodging Resistance and Yield of Spring Maize under High Density Conditions

LIU Zhiming<sup>1</sup>, GAI Xudong<sup>2</sup>, LI Baoyu<sup>3</sup>, LAN Tianjiao<sup>1</sup>, SUN Baolong<sup>1</sup>, LYU Yanjie<sup>1</sup>

(1. Institute of Agricultural Resources and Environment, Jilin Academy of Agriculture Sciences, Changchun 130033; 2. Jilin Jinong Hi-tech Development Co., Ltd., Gongzhuling 136100; 3. Jilin Jile Extension Station of Agricultural Technology, Meihekou 135025, China)

**Abstract:** In order to study the effect of chemical regulators application on lodging resistance of maize under high density conditions, and to clarify the mechanism of chemical regulators application on regulating stem lodging resistance, 'Xianyu 335' was used as experimental material and Yuhuangjin, Duntianbao and Zhuangfengling were sprayed respectively at the six-leaf stage. The agronomic characters, the stem mechanical characteristics, the content of cellulose, hemicellulose and lignin in stem and root, dry matter accumulation and yield of maize were analyzed. The results showed that Yuhuangjin, Duntianbao and Zhuangfengling significantly decreased the plant height, ear position height and center of gravity of maize, increased the third internode stem diameter, and the lodging rate decreased significantly. The puncture strength and bending strength of stem increased by 8.1%-23.3% and 7.8%-21.2% respectively. The lignin content of stem and root increased significantly, and the yield increased by 7.1%-11.6%. Chemical regulators application mainly reduced plant height and ear position height of maize, and then reduced the height of center of gravity, increased the diameter and the lignin content of stem, improved the mechanical characteristics of stem, so as to reduce the lodging rate and increased the yield of maize.

**Key words:** Maize; Chemical regulators; Lodging resistance

玉米是我国重要的粮食作物,其稳定增产对保障我国粮食安全具有十分重要的意义。增加作

物单产不仅归功于品种的遗传改良,还有赖于田间管理等栽培技术<sup>[1]</sup>。增加作物种植密度,提高光温资源利用率,依靠群体发挥增产潜力是实现作物高产的重要措施之一<sup>[2]</sup>,研究表明,增加玉米种植密度能够提高冠层光能利用率,是增加作物产量的关键因素<sup>[3]</sup>,但随着玉米种植密度增加,其株高和穗位高增加,植株重心上移,基部茎秆节间直径减小、长度增加,导致抗倒伏能力降低,由

收稿日期:2019-06-16

基金项目:国家自然科学基金(31701349);国家重点研发计划课题(2017YFD0300603);吉林省自然科学基金(20190201027JC)

作者简介:刘志铭(1978-),男,助理研究员,硕士,研究方向为玉米栽培生理。

此造成玉米倒伏后,群体结构被破坏,光合能力急剧下降,植株病虫害加重,严重影响了产量和品质形成<sup>[4]</sup>。我国每年因倒伏损失的玉米产量在5%~25%。据报道,玉米倒伏率每增加1%,产量降低108 kg/hm<sup>2[5]</sup>。因此,高密度种植条件玉米倒伏是提高玉米产量的限制因素之一,探索玉米抗倒伏技术、提高玉米抗倒伏能力是当前玉米高生产中亟待解决的问题。目前,化学调控技术广泛应用于农业生产,利用化学调控能够有效降低玉米株高、穗位高,增加基部节间茎粗,调节玉米生长发育、改善冠层结构、提高光能利用率<sup>[6-7]</sup>,从而有效提高玉米抗倒伏能力。徐宇<sup>[8]</sup>研究表明,在6叶期对春玉米进行化控处理能够提高茎秆木质素含量,改善茎秆纤维品质性状,显著增强抗倒伏能力。刘笑鸣等<sup>[9]</sup>研究表明,高密度种植下,化控能够显著增加玉米基部节间抗折断力、茎粗以及穿刺强度,降低基部节间长度,提高玉米抗倒伏能力和产量。进一步研究化控对高密度种植春玉米抗倒伏能力的影响机制,为利用化控技术提高玉米抗倒伏能力、稳定增加玉米产量提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料和地点

试验于2017年在吉林省农业科学院试验田进行,以先玉335为试验材料,化控剂选用玉黄金(30%胺酯·乙炔利水剂),购自福建浩伦生物工程有限公司,吨田宝(哌啶噻盐与基因激活剂水剂),购自吉林省丰途农业开发有限公司,壮丰灵(乙炔利、芸苔素内酯,有效成分总含量30%),购自北京绿洲之星科技有限公司,供试土壤为黑钙土,含碱解氮176.27 mg/kg,有机质35.66 g/kg,速效钾153.2 mg/kg,速效磷83.3 mg/kg。

### 1.2 试验设计

试验设3个化控处理,分别为玉黄金(YHJ)、吨田宝(DTB)、壮丰灵(ZFL)和一个清水对照(CK),在玉米6叶期人工均匀喷施。玉黄金每公顷375 mL兑水450 kg,吨田宝每公顷450 mL兑水300 kg,壮丰灵每公顷400 mL兑水250 kg。播种前分别施入120 kg/hm<sup>2</sup>氮肥(N),90 kg/hm<sup>2</sup>磷肥(磷酸二氢铵),90 kg/hm<sup>2</sup>钾肥(硫酸钾)作为种肥,在玉米拔节期追施80 kg/hm<sup>2</sup>氮肥(N)。2017年4月30日播种,种植密度为9万株/hm<sup>2</sup>。采用随机区组设计,小区面积48 m<sup>2</sup>,每个处理重复3次。

### 1.3 测定项目与方法

#### 1.3.1 株高、穗位高、茎粗及倒伏率

试验于灌浆初期选取长势一致、具有代表性的植株调查其株高、茎粗(第三节中部横位直径)、重心高度,在完熟期调查实际倒伏率,倒伏率=倒伏株数/小区总株数×100%。

#### 1.3.2 茎秆力学特征

分别在拔节期、抽雄吐丝期、灌浆初期、乳熟期和完熟期取生长状况一致的玉米5株,取下第三节间,用AWOS-SL04茎秆强度测定仪测定穿刺强度,用植物茎秆强度测定仪测定弯折强度。

#### 1.3.3 玉米根系纤维素、半纤维素和木质素含量

在灌浆初期取基部第三节间和玉米地下节根清洗干净后放入烘箱烘干,用范式洗涤法测定茎秆和根系纤维素、半纤维素和木质素含量。

#### 1.3.4 玉米根系干物质积累测定

分别在拔节期、抽雄吐丝期、灌浆初期、乳熟期和完熟期选取生长一致的玉米植株3株,在105℃杀青30 min,80℃烘至恒重。同时,以植株为中心,挖掘二分之一行距和株距,60 cm深的区域,用水冲洗干净,挑选出所有玉米根系,在105℃杀青30 min,80℃烘至恒重。

#### 1.3.5 产量和产量构成因素测定

在玉米完熟期收获每小区中间4行进行测产,自然风干后,从中选取20穗带回室内测定,穗行数、行粒数、穗粒数、秃尖长、百粒重和含水量。产量按14%含水量计算。实际产量=收获籽粒产量(kg)/收获面积(m<sup>2</sup>)×10 000(m<sup>2</sup>)×(1-实际含水量)/0.86。

## 1.4 数据分析

采用Excel 2010统计和计算数据,采用SPSS 24.0进行差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 化控对玉米株高、穗位高、茎粗及倒伏率的影响

化控处理降低了玉米株高、穗位高,使得重心高度下降,更有利于提高抗倒伏能力。由表1可知,和对照相比,化控处理显著降低了植株株高、穗位高和重心高度。其中,玉黄金、吨田宝和壮丰灵株高分别降低了12.5%、9.7%和12.2%,穗位高分别降低了16.5%、11.4%和15.2%,重心高度分别降低了28.4%、12.4%和18.7%。化控处理显著增加了玉米茎粗,玉黄金、吨田宝和壮丰灵茎粗分别增加了5.0%、3.7%和5.6%。化控处理茎折率显著下降,玉黄金、吨田宝和壮丰灵倒伏率分别降低了83.4%、79.9%和92.0%。

表1 化控对玉米株高、穗位高、茎粗及倒伏率的影响

处理	株高 (cm)	穗位高 (cm)	重心高度 (cm)	茎粗 (mm)	茎折率 (%)	根倒率 (%)
CK	316.3±6.1 a	155.3±3.5 a	126.7±7.4 a	20.2±0.4 b	17.4±1.4 a	8.5±1.8 a
YHJ	276.7±9.7 b	129.7±5.5 b	90.7±3.2 c	21.3±0.4 a	2.9±0.7 b	0.7±0.4 b
DTB	287.0±7.6 b	137.7±6.7 b	111.0±7.9 b	21.0±0.4 a	3.5±1.1 b	1.2±0.5 b
ZFL	277.7±8.3 b	131.7±6.1 b	103.0±6.0 b	21.4±0.3 a	1.4±0.4 b	0.6±1.8 b

注:不同小写字母表示处理间在0.05水平上差异显著,下同

## 2.2 化控对玉米第三节间茎秆力学特征的影响

穿刺强度和弯折强度是衡量玉米茎秆质量和机械强度的重要指标,和玉米抗倒伏能力密切相关。由图1、图2可知,随着生育期的推进,茎秆穿刺强度和弯折强度呈现先增加后下降的趋势,在各生育时期,和对照相比,化控处理穿刺强度和弯折强度均显著增加。其中,第三节间穿刺强度随生育期的推进,玉黄金在拔节期、抽雄吐丝期、灌浆初期、乳熟期和完熟期分别比对照高8.1%、17.5%、21.4%、25.5%、19.8%,吨田宝分别比对照

高9.0%、11.6%、15.6%、22.6%、16.9%,壮丰灵分别比对照高1.1%、13.8%、13.3%、23.3%、19.8%。弯折强度随生育期的推进,玉黄金在拔节期、抽雄吐丝期、灌浆初期、乳熟期和完熟期分别比对照高21.2%、15.1%、11.4%、12.2%、13.2%,吨田宝分别比对照高19.5%、13.6%、8.4%、9.3%、9.2%,壮丰灵分别比对照高18.8%、12.8%、7.8%、11.6%、8.2%。在各生育时期,玉黄金处理的茎秆穿刺强度和弯折强度均高于吨田宝和壮丰灵处理。

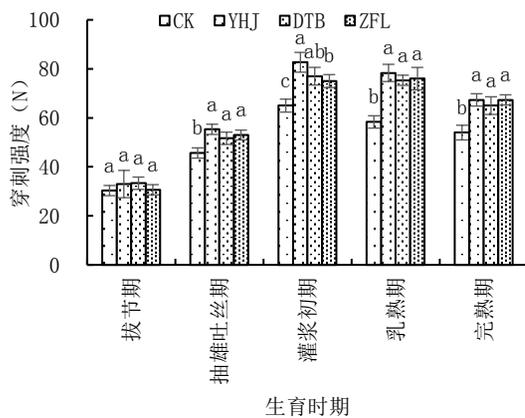


图1 化控对第三节间穿刺强度的影响

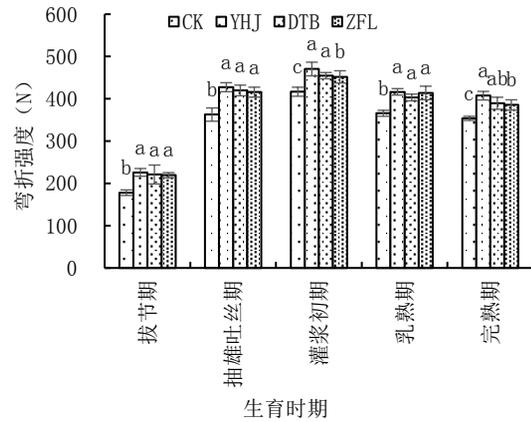


图2 化控对第三节间弯折强度的影响

## 2.3 化控对玉米茎秆和根系纤维素、半纤维素和木质素含量的影响

茎秆和根系的纤维素、半纤维素、木质素含量

与玉米抗倒伏能力密切相关,其含量的多少能够体现抗倒伏能力的高低。表2显示,化控处理增加了茎秆纤维素、半纤维素和木质素含量,其中,

表2 化控对玉米茎秆和根系纤维素、半纤维素和木质素含量的影响

处理	纤维素含量 (%)	半纤维素含量 (%)	木质素含量 (%)
CK	30.1±0.2 a	20.0±0.2 b	5.4±0.1 b
YHJ	31.2±0.6 a	21.1±0.2 a	6.0±0.2 a
DTB	30.5±0.6 a	21.1±1.5 a	6.0±0.1 a
ZFL	31.1±0.8 a	21.5±0.5 a	6.1±0.1 a
CK	42.8±0.6 a	18.7±0.6 c	5.4±0.6 b
YHJ	42.4±0.5 a	22.9±0.9 b	6.9±0.8 a
DTB	40.1±0.4 b	26.6±0.2 a	6.2±0.3 ab
ZFL	39.5±0.7 b	22.5±0.1 b	6.0±0.4 ab

化控处理均增加了茎秆纤维素含量,和对照差异不显著,半纤维素含量显著增加,玉黄金、吨田宝和壮丰灵分别比对照高5.2%、5.3%、6.7%;木质素含量显著增加,玉黄金、吨田宝和壮丰灵分别比对照高10.6%、10.5%、12.1%。化控处理降低了根系纤维素含量,吨田宝和壮丰灵与对照差异显著,分别比对照低6.4%、7.8%,半纤维素含量显著增加,玉黄金、吨田宝和壮丰灵分别比对照高18.6%、29.7%、16.9%,化控处理增加了根系木质素含量,玉黄金处理显著高于对照22.7%,吨田宝和壮丰灵与对照差异不显著。

#### 2.4 化控对玉米地上部和根系干物质积累的影响

图3表明,随生育期的推进,干物质积累量逐渐增加,拔节期玉黄金、吨田宝和壮丰灵分别比对照低32.6%、28.7%、34.1%,抽雄吐丝期和灌浆初期差异不显著,乳熟期化控处理干物质积累量高于对照,玉黄金、吨田宝和壮丰灵分别比对照高7.0%、7.6%、6.8%,完熟期玉黄金、吨田宝和壮丰灵分别比对照高9.9%、9.9%、7.8%。

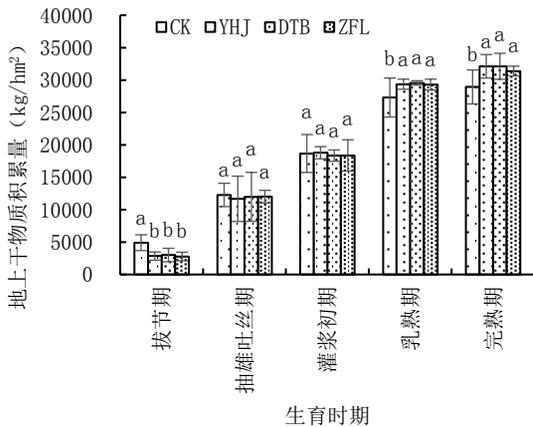


图3 化控对地上部干物质积累量的影响

由图4可知,根系干物质积累量随生育期进行呈先增加后减少的趋势,拔节期、抽雄吐丝期、灌浆初期和乳熟期化控处理显著高于对照,拔节期化控处理和对照差异不显著,玉黄金、吨田宝和壮丰灵在抽雄吐丝期分别比对照高17.4%、10.3%、11.3%,灌浆初期分别比对照高15.6%、9.0%、6.8%,乳熟期分别比对照高13.9%、12.4%、10.2%,完熟期各处理和对照差异则不显著。

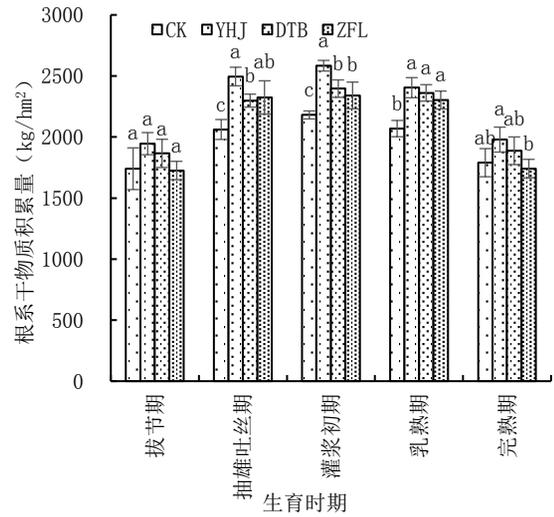


图4 化控对根系干物质积累量的影响

#### 2.5 化控对玉米产量及产量构成因素的影响

表3显示,化控处理后玉米有效穗数显著高于对照,化控处理间差异不显著。喷施玉黄金和壮丰灵穗行数分别比对照高7.7%,吨田宝和对照差异不显著。喷施玉黄金千粒重比对照高7.6%,吨田宝和壮丰灵与对照差异不显著。化控处理产量显著高于对照,玉黄金、吨田宝和壮丰灵分别比对照高11.6%、9.6%、7.1%。

表3 化控对玉米产量及产量构成因素的影响

处理	有效穗数(穗/hm <sup>2</sup> )	穗行数	行粒数	千粒重(g)	产量(kg/hm <sup>2</sup> )
CK	78848±653 b	16.0±0.5 b	37.3±1.5 a	319.0±4.6 b	10571.3±289.7 c
YHJ	82715±681 a	17.3±0.6 a	39.3±1.2 a	345.3±12.1 a	11958.3±98.4 a
DTB	82458±847 a	16.3±0.3 b	38.7±1.5 a	330.3±10.4 ab	11692.3±237.2 ab
ZFL	81861±960 a	17.3±0.6 a	39.0±1.7 a	332.0±6.6 ab	11380.7±354.5 b

### 3 讨论

#### 3.1 化控对高密度种植玉米茎秆和根系纤维的影响

化控处理能够显著增加玉米节间和根系纤维素、半纤维素和木质素含量,提高其抗倒伏能力,

刘文彬等<sup>[15]</sup>研究发现,乙烯利能够显著增加节间纤维素、半纤维素和木质素的总含量。樊海潮等<sup>[16]</sup>研究表明,化控处理显著提高玉米第三节间纤维素、半纤维素和木质素含量,玉米茎秆抗折力和抗倒伏能力显著提高。本研究结果表明,化控提高了茎秆第三节间和根系的纤维素、半纤维

素、木质素含量,可能是化控激活了细胞壁合成信号转导、蛋白质、次生代谢产物等相关基因表达,促进了细胞壁的形成和细胞伸长生长。

### 3.2 化控对高密度种植玉米形态特征和茎秆力学特征的影响

化控处理能够显著影响玉米形态特征和茎秆力学特征,李宁等<sup>[10]</sup>研究表明,化学调控降低株高、穗位高,从而降低玉米倒伏率,提高产量,且茎秆抗倒伏能力和农艺性状密切相关。曹庆军等<sup>[11]</sup>认为理想抗倒伏型应具有:株高穗位高适中、基部茎节短、横切面积大的特点。房海悦等<sup>[12]</sup>提出增施钾肥,耐密,抗病虫,减小穗位高系数和茎秆长粗比,根系发达等均能有效地增强茎秆的抗倒伏能力。孟祥盟等<sup>[13]</sup>研究表明,化控显著影响玉米形态特征,增加了茎秆穿刺强度,使植株具有较强的抗倒伏能力。本研究中化控处理显著降低植株株高、穗位高和重心高度,茎秆穿刺强度和弯折强度显著增加,倒伏率降低。化控主要是通过调节玉米体内内源激素的平衡,进而促进物质合成、运输和代谢,增加了茎秆茎粗以及木质素等茎秆机械支持物质,进而提高了茎秆抗倒伏能力,降低了植株茎折率<sup>[14]</sup>。

### 3.3 化控对高密度种植玉米产量及干物质分配和积累的影响

玉米生长过程中,茎折会引起大幅减产,化控处理能够显著降低玉米倒伏率,保证玉米稳产性。玉米产量形成和干物质积累主要取决于光合作用,化控处理能够改善玉米冠层结构,增加群体光合能力,促进光合物质在全生育期的合理分配,减少生长前期地上部分干物质积累量,增加根系生物量,提高产量。边大红<sup>[17]</sup>研究了局部化控对玉米冠层结构的影响,结果表明,植株变矮、节间缩短、光合群体时间延长,单位面积光合产物和产量增加。王军<sup>[18]</sup>研究结果表明,玉黄金处理显著降低了玉米拔节到乳熟期地上部分干物质质量。本研究结果表明,化控处理显著降低拔节期地上部分干物质积累量,乳熟期和完熟期显著增加,根系干物质积累量增加。化控处理增加产量主要是增加了玉米有效穗数,有效穗数的增加主要依赖于降低了茎折率,茎折发生在玉米生长各个时期,早期发生茎折,会导致玉米物质运输受阻,雌穗无法结实,化控处理降低了茎折率,保证了养分和水分供应充足,促进干物质向籽粒运输,从而提高了玉米有效穗数。各化控处理中,玉黄金产量最高,其次为吨田宝和壮丰灵。

## 4 结 论

化控显著影响玉米形态和生理特征,喷施化控剂增加玉米茎秆直径和木质素含量,增强了茎秆穿刺强度和弯折强度,降低茎秆茎折率,有效提高抗倒伏能力。化控措施增加干物质积累,调节物质分配,实现增产。3种化控剂均显著增产,以玉黄金处理的增产幅度较大,达11.6%。

### 参考文献:

- [1] 常旭虹,赵广才,刘利华,等.玉米保护性耕作栽培技术研究[J].玉米科学,2006,14(6):113-116.
- [2] 毕常锐,白志英,杨 詠,等.种植密度对小麦群体光能资源利用的调控效应[J].华北农学报,2010,25(5):171-176.
- [3] 吕丽华,陶洪斌,夏来坤,等.不同种植密度下的夏玉米冠层结构及光合特性[J].作物学报,2008(3):447-455.
- [4] 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.
- [5] 王家润.驻马店夏玉米倒伏原因与防控措施[J].河南农业,2014(17):32.
- [6] 薛金涛,张保明,董志强,等.化学调控对玉米抗倒性及产量的影响[J].玉米科学,2009,17(2):91-94,98.
- [7] 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.
- [8] 徐 宇.化控剂密高2号对玉米抗倒伏性能及生理生化指标的影响[D].大庆:黑龙江八一农垦大学,2015.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 曹庆军,杨粉团,姜晓莉,等.玉米抗茎倒能力评价及理想株型[J].东北农业科学,2017,42(2):17-21.
- [12] 房海悦,李毅丹,曲文丽,等.玉米倒伏影响因素及其QTL定位研究进展[J].东北农业科学,2016,41(5):42-45.
- [13] 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.
- [14] 李妹彤,边大红,何 璐,等.黄淮海夏玉米倒伏及化控抗倒技术研究进展[J].玉米科学,2018,26(3):95-101.
- [15] 刘文彬,冯乃杰,张盼盼,等.乙烯利和激动素对玉米茎秆抗倒伏和产量的影响[J].中国生态农业学报,2017,25(9):1326-1334.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 王 军.玉黄金在玉米生长中的应用效果研究[J].黑龙江农业科学,2015(4):30-32.
- [19] 丛艳霞,赵 明,董志强,等.乙酰胺剂对东北春玉米干物质积累和茎秆形态的化学调控[J].玉米科学,2009,17(5):85-89.