

引用格式:

李静, 李青松, 杨艳霞, 王德新, 韩燕来. 前茬小麦有机肥替代化肥氮对后茬玉米抗倒伏性状的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2024, 50(1): 9-14.

LI J, LI Q S, YANG Y X, WANG D X, HAN Y L. Effects of replacing chemical fertilizer nitrogen with organic fertilizer in previous wheat on lodging resistance of later maize[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2024, 50(1): 9-14.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



## 前茬小麦有机肥替代化肥氮对后茬玉米抗倒伏性状的影响

李静<sup>1</sup>, 李青松<sup>1</sup>, 杨艳霞<sup>2</sup>, 王德新<sup>3</sup>, 韩燕来<sup>1\*</sup>

(1.河南农业大学资源与环境学院, 河南 郑州 450002; 2.西平县农业技术推广中心, 河南 西平 463900; 3.河南省农业科学院粮食作物研究所, 河南 郑州 450002)

**摘要:** 以豫南砂姜黑土区冬小麦-夏玉米轮作体系下的玉米为研究对象, 基于大田试验, 采用小麦、玉米周年轮作模式, 在前茬冬小麦季设置6个有机肥替代化肥氮处理, 即T0(0)、T20(20%)、T40(40%)、T60(60%)、T80(80%)和T100(100%), 玉米季各小区均正常施用化肥, 在玉米吐丝期测定玉米抗倒伏相关表观性状、力学指标, 在玉米拔节期、吐丝期、成熟期测定土壤可溶性氮含量, 在玉米成熟期测定产量及其构成因素。结果表明: 与T0相比, 有机肥替代化肥氮处理的玉米吐丝期的株高、重心高度、穗位高度及穗位系数均无显著变化; 第3、4、5节间直径、节间干物质质量、单位茎长干物质质量、压碎强度和抗倒指数增加; T60处理能显著提高玉米茎秆抗倒指数; 在玉米拔节期、吐丝期、成熟期, 有机肥替代不同比例化肥氮处理的土壤可溶性氮含量均有不同程度的增加, 均以T60处理的含量最高; 有机肥替代化肥氮处理的玉米产量、百粒质量均有所增加, T60处理的玉米产量增加了15.61%。可见, 前茬有机肥替代化肥氮能够提高后茬玉米的抗倒伏性及产量, 以有机肥替代60%化肥氮的效果最好。

**关键词:** 玉米; 有机肥; 抗倒伏性; 化肥氮

中图分类号: S513.062

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2024)01-0009-06

### Effects of replacing chemical fertilizer nitrogen with organic fertilizer in previous wheat on lodging resistance of later maize

LI Jing<sup>1</sup>, LI Qingsong<sup>1</sup>, YANG Yanxia<sup>2</sup>, WANG Dexin<sup>3</sup>, HAN Yanlai<sup>1\*</sup>

(1.College of Resources and Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450002,China; 2.Xiping County Agricultural Technology Promotion Center, Xiping, Henan 463900, China; 3.Institute of Grain Crops, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou, Henan 450002, China)

**Abstract:** In this study, corn was planted under winter wheat-summer corn rotation system in the sand-ginger-black soil area of South Henan for the field experiment, adopting the wheat-corn annual rotation pattern. The fertilizer was set up to six treatments with organic fertilizer replacing different proportions of chemical fertilizer nitrogen in the previous wheat season: T0(0), T20(20%), T40(40%), T60(60%), T80(80%) and T100(100%). Fertilizers were applied normally to all plots in the corn season. The parameters of maize resistance to downy related phenological traits and mechanical indexes were collected at the corn silking stage, soil soluble nitrogen content at the maize pulling stage, silking stage and maturity stage, and yields and their constitutive factors at the maturity stage of maize. The results showed that compared with the T0 treatment, there were no significant changes in plant height, center of gravity height, ear height and coefficient of ear position of spathe stage maize treated with organic fertilizer replacing different proportions of chemical fertilizer nitrogen. The diameter of the 3rd, 4th, 5th internode, the dry mass of the internode, the dry mass of the dry matter per unit

收稿日期: 2023-05-10

修回日期: 2024-01-23

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0200600)

作者简介: 李静(1995—), 女, 河南商丘人, 硕士研究生, 主要从事作物高效施肥研究, 1969858715@qq.com; \*通信作者, 韩燕来, 博士, 教授, 主要从事土壤-作物系统氮素营养调控、新型肥料研制与应用研究, hylanlai@henau.edu.cn

of the stem length, the crushing strength and the antiretroviral index were increased. The T60 treatment significantly increased the antiretroviral index of maize stalks. In the maize pulling period, spathe stage and maturity stage, the soil soluble N contents of organic fertilizer replacing different proportions of fertilizer N treatments were increased to different degrees, and all of them were highest in the T60 treatment. The maize yield and 100-grain quality of organic fertilizer replacing fertilizer N treatments were increased, and the maize yield of the T60 treatment was significantly increased by 15.61%. It could be concluded that organic fertilizer forecrop replacement of fertilizer nitrogen could improve the maize resistance and yield of the later crop and the organic fertilizer replacing 60% of fertilizer nitrogen had the optimal effect.

**Keywords:** maize; organic fertilizer; resistance to lodging; chemical fertilizer nitrogen

倒伏是玉米生产过程中常见的问题。玉米茎秆倒伏破坏了植株的输导组织,使玉米生长过程中水分、养分供应不足,出现早衰现象<sup>[1-2]</sup>。作物群体倒伏使冠层结构被破坏,叶片光合效率下降,干瘪粒增多,籽粒易受病虫害<sup>[3-4]</sup>,从而导致产量和品质下降等问题。资料<sup>[4-9]</sup>表明,每年玉米因倒伏减产 5%~25%,倒伏情况严重的年份倒伏率高达 50%以上,甚至出现绝收情况。高密度种植条件下,茎秆单位长度干质量与茎秆力学指标特征随种植密度的增加而逐渐减小<sup>[10]</sup>。不合理的施肥会引起作物倒伏。当施氮量超过一定量时,植株高度和重心显著增加,单位长度干质量减少,茎壁厚度、直径以及茎秆抗折力、基部节间刺穿强度下降,进而影响作物的抗倒伏性<sup>[11-12]</sup>。合理的植物生长调节素能够调控作物的株型结构,降低株高和重心高度,增大茎秆直径,增加茎秆内部粗纤维含量和机械力,进而增强茎秆的抗倒能力,增加作物产量<sup>[13-17]</sup>。

有机肥中含有大量植物所需的营养元素,施用有机肥能够增加土壤的有机质含量,改良土壤,培肥地力,提高产量。研究<sup>[18]</sup>表明,有机肥、无机肥配施,能够提高水稻植株茎秆粗度、茎壁厚度、茎质量和茎秆的硅、钾含量,从而有效提高基部茎秆的抗折力。在总养分投入一致的情况下,将有机肥按照氮、磷、钾总养分的 20%替代化肥,玉米茬有机替代并不会提高当季玉米的生长指标,但在小麦茬进行有机替代会提高后茬玉米的茎粗、生物量,从而提高玉米的抗倒伏能力<sup>[18]</sup>。但目前关于前茬有机肥替代不同比例化肥氮对后茬玉米抗倒伏的表现性状、力学相关指标及其产量的影响的研究相对较少。鉴于此,笔者通过田间试验,探究前茬有机肥替代化肥氮的最适比例,以期小麦-玉米周年轮作过程中化肥减量并能提高玉米抗倒伏能力提

供依据。

## 1 试验地概况

试验于 2019 年 10 月至 2020 年 10 月在河南省驻马店市西平县进行。年均日照时长为 2 157.2 h,平均气温 14.8 °C,无霜期 221 d,降水量 852 mm。供试土壤为砂姜黑土。夏玉米播种前 0~20 cm 的土层土壤的有机质 20.32 g/kg,全氮 1.21 g/kg,速效磷 18.34 mg/kg,速效钾 108.52 mg/kg, pH 4.7。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料

供试小麦为‘郑麦 119’;供试玉米品种为‘豫单 132’。

### 2.2 试验设计

采用冬小麦-夏玉米周年轮作模式,前茬作物为小麦,设置正常施化肥 T0(N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 分别为 210、120、75 kg/hm<sup>2</sup>)、有机肥替代 20%(T20)、40%(T40)、60%(T60)、80%(T80)和 100%(T100)化肥氮处理。有机肥的用量根据各处理有机肥替代化肥氮的用量折算而来,化肥磷、化肥钾的用量根据各小区设计的氮、磷、钾施用总量扣除有机肥带入的磷、钾量进行计算。玉米季各小区均正常施用化肥,氮(N)、磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、钾(K<sub>2</sub>O)的总量分别为 210、150、75 kg/hm<sup>2</sup>。有机肥以及化肥均于小麦和玉米播种前一次性基施。小区面积为 30 m<sup>2</sup>。每个处理 3 次重复。供试有机肥为商品有机肥,其有机质、全氮、速效磷、速效钾含量分别为 47.51%、4.04%、0.57%、0.60%,含水量为 17.51%;氮肥为尿素,含 N 46.4%;磷肥为过磷酸钙,含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%;钾肥

为硫酸钾, 含  $K_2O$  50%。小麦收获后土壤理化性状见表 1。

表 1 小麦收获后不同处理的土壤理化性状

Table 1 Soil physical and chemical properties of different treatments after wheat harvest

处理	容重/( $g\ cm^{-3}$ )	pH	含水量/%	有机质/( $g\ kg^{-1}$ )
T0	1.45	4.77	9.10	20.32
T20	1.40	4.92	10.29	21.43
T40	1.40	4.60	9.43	23.50
T60	1.38	4.74	10.27	20.85
T80	1.33	4.46	9.81	22.41
T100	1.34	4.47	9.56	23.47

## 2.3 测定指标及其计算方法

### 2.3.1 玉米产量及构成因素的测定

在玉米成熟期, 各小区选取有代表性的 15 穗玉米穗, 待风干后考种, 测定穗长、穗宽、穗粒数、百粒质量, 以 14% 的含水量折算为产量。每个处理 3 次重复。

### 2.3.2 土壤可溶性氮含量的测定

玉米拔节期、吐丝期、收获期, 采用随机取样法, 各小区采集 0~20 cm 土样, 每个小区用土钻随机选取 5 个点采集土壤, 称取 10.00 g 鲜土过 2 mm 孔径的筛于白瓶中, 加入 0.5 mol/L 的  $K_2SO_4$  溶液 40 mL, 振荡 30 min 后进行过滤, 吸取滤液用 Multi N/C3100 有机碳/总氮分析仪测定可溶性氮的含量。

### 2.3.3 玉米抗倒指标的测定

于玉米吐丝期每个小区选取具有代表性的且未发生倒伏的玉米植株 10 株。取基部第 3、4、5 节间, 用 YYD.1 型茎秆强度仪测定压碎强度。将横断面积为  $0.01\ cm^2$  的探针, 在第 3、4、5 节间中间垂直茎秆方向匀速插入, 读取穿透茎秆的最大值, 即为穿刺强度。

### 2.3.4 玉米植株形态指标和节间干物质质量的测定

于玉米吐丝期每个处理选取具代表性的植株 10 株, 测量株高、穗位高和重心高度, 计算穗位系数。用游标卡尺测定各节间直径, 用直尺测定各节间长度。

于玉米吐丝期每个小区选取具有代表性的且

未发生倒伏的玉米植株 10 株, 称取单茎鲜质量后将第 3、4、5 节间  $105\ ^\circ C$  杀青 30 min, 再  $80\ ^\circ C$  烘干至恒重, 用百分位天平称重, 并计算单位茎长干物质质量。单位茎长干物质质量为节间干物质质量与节间长度的比值。按照文献[19]的方法计算茎秆抗倒指数。

## 2.4 数据处理

采用 Excel 2016 进行数据处理; 采用 SPSS 22.0 进行 Duncan 新复极差法差异显著性分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 有机肥替代化肥氮处理的土壤可溶性氮含量

由表 2 可知, 在玉米 3 个生育期内, 均以 T60 的可溶性氮含量最高。在玉米拔节期和吐丝期, 与 T0 相比, 不同处理土壤可溶性氮含量分别增加了 3.68%~31.50%、15.14%~42.87%, 其中, T60 与 T0 间的差异显著。在玉米成熟期, 与 T0 相比, T20、T40、T60 的可溶性氮分别增加了 0.14%、8.47%、14.98%, T80、T100 可溶性氮含量分别减少了 0.05%、5.63%, 5 个有机替代化肥氮处理间的差异不显著。

表 2 6 个处理土壤的可溶性氮含量

Table 2 Soluble nitrogen contents of soils under six treatments

处理	可溶性氮含量/( $mg\ kg^{-1}$ )		
	拔节期	吐丝期	成熟期
T0	17.67b	18.03b	21.50b
T20	18.32b	24.12ab	21.53ab
T40	20.13ab	23.45ab	23.32ab
T60	23.23a	25.76a	24.72a
T80	20.38ab	22.23ab	21.49ab
T100	20.17ab	20.76ab	20.29ab

同列数据不同字母示处理间的差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。

### 3.2 玉米的产量及其构成因素

由表 3 可知, 与 T0 相比, T20、T40、T80、T100 的玉米产量分别增加 4.36%、2.01%、5.97%、4.58%, 但差异不显著; T60 的玉米产量显著增加了 15.61%, 增产效果最好。与 T0 相比, T20、T40、T60、T80、T100 的玉米百粒质量分别显著增加了 12.58%、16.23%、15.58%、15.54%、11.89%。各处理之间玉米的穗长、穗宽、穗粒数差异均不显著。

表3 6个处理玉米的产量及产量构成因子

Table 3 Yields and yield components of maize under six treatments

处理	穗长/cm	穗宽/cm	穗粒数	百粒质量/g	产量/(kg hm <sup>-2</sup> )
T0	18.13	4.33	508.20	24.64b	8 774.55b
T20	17.90	4.22	539.76	27.74a	9 157.05ab
T40	18.72	4.28	503.70	28.64a	8 950.50ab
T60	17.72	4.43	551.32	28.48a	10 143.90a
T80	17.25	4.34	516.66	28.47a	9 298.59ab
T100	17.67	4.41	503.70	27.57a	9 176.18ab

同列数据不同字母示处理间的差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。

### 3.3 玉米的抗倒伏表现性状

由表4可知,各处理玉米的株高、重心高度、穗位高度及穗位系数均无显著差异。与T0相比,

T20、T40、T60、T80、T100茎秆抗倒指数分别增加了5.81%、36.05%、48.84%、16.86%、9.88%,其中,T60的茎秆抗倒指数与T0的差异显著。

表4 6个处理的玉米整株表现性状

Table 4 Apparent traits of whole maize plants under six treatments

处理	株高/cm	重心高度/cm	穗位高度/cm	穗位系数	茎秆抗倒指数
T0	322.30	113.23	114.90	0.37	1.72b
T20	326.90	113.12	123.10	0.38	1.82b
T40	325.62	112.13	121.60	0.37	2.34ab
T60	317.81	115.67	117.15	0.37	2.56a
T80	319.63	116.33	122.60	0.38	2.01ab
T100	320.51	114.67	121.11	0.38	1.89ab

同列数据不同字母示处理间的差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。

由表5可知,有机肥替代化肥可以增加玉米茎秆第3、4、5节节间直径、节间干物质质量和单位茎长干物质质量。与T0相比,T60基部第3节间的节间长度、节间直径、节间干物质质量、

单位茎长干物质质量分别显著增加了12.32%、13.01%、55.27%、38.71%。可见,T60是通过增加玉米第3节间长度、直径、单位茎长干物质质量来提高玉米抗倒指数。

表5 不同处理的玉米基部节间表现性状

Table 5 Apparent internode traits of basal maize under six treatments

处理	节间长度/cm			节间直径/mm			节间干物质质量/g			单位茎长干物质质量/(g cm <sup>-1</sup> )		
	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	第3节	第4节	第5节
T0	15.34b	17.42ab	20.34	21.21b	20.80	18.98b	4.74b	5.52ab	5.25b	0.31b	0.32ab	0.26
T20	14.53b	17.23b	21.57	20.81b	20.17	19.87ab	4.30b	4.84b	5.68ab	0.29b	0.28b	0.26
T40	14.85b	18.54a	20.78	20.63b	21.26	20.50ab	5.17b	5.99ab	6.02ab	0.35ab	0.33ab	0.29
T60	17.23a	18.34ab	20.54	23.97a	21.80	21.50a	7.36a	6.50a	6.73a	0.43a	0.35ab	0.33
T80	15.97ab	18.16ab	21.31	21.26b	20.73	20.72ab	6.10ab	6.23a	6.21ab	0.38ab	0.34ab	0.29
T100	14.95b	17.65ab	21.89	21.28b	20.87	20.44ab	5.32b	6.69a	6.00ab	0.36ab	0.38a	0.27

同列数据不同字母示处理间的差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。

### 3.4 有机肥替代化肥氮玉米的节间力学性能

由表6知:与T0相比,各处理的玉米第3、4、5节间的压碎强度分别增加了6.25%~52.64%、0.89%~39.23%、22.33%~46.70%;T60第3、4、5节间的压碎强度分别显著增加了52.64%、39.23%、

46.70%;T60对3、4、5节间的刺穿强度分别增加了31.26%、18.37%、10.27%,其中第3、4节间增强显著。由此可知,有机肥可以通过增加基部节间第3、4、5节间的压碎强度和刺穿强度来提高玉米的抗倒伏能力。

表 6 6 个不同处理的玉米基部节间力学性能

处理	压碎强度			刺穿强度		
	第 3 节	第 4 节	第 5 节	第 3 节	第 4 节	第 5 节
T0	193.87b	169.31b	134.47b	49.77bc	45.90b	40.90
T20	205.99b	170.81b	164.50ab	51.10bc	43.93b	40.41
T40	262.53ab	202.10ab	172.53ab	43.70c	46.23b	43.33
T60	295.93a	235.73a	197.27a	65.33a	54.33a	45.10
T80	233.23ab	195.40ab	179.00ab	53.53b	46.90ab	40.48
T100	216.51b	191.90ab	165.47ab	50.37bc	45.30b	39.72

同列数据不同字母示处理间的差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。

### 3.5 玉米抗倒指数与植株生物学性状的关系

由表 7 可知,玉米抗倒指数与节间直径、单位茎长干物质质量呈极显著正相关,与茎秆刺穿强度和压碎强度呈显著正相关。茎秆压碎强度与刺穿强度、节间直径、单位茎长干物质质量呈显著正相关。

刺穿强度与节间直径和节间长度呈极显著正相关,与单位茎长干物质质量呈显著正相关。节间直径与节间长度呈显著正相关,与单位茎长干物质质量呈极显著正相关。

表 7 玉米抗倒指数与表现性状的相关系数

性状	相关系数				
	抗倒指数	压碎强度	刺穿强度	节间直径	节间长度
压碎强度	0.556*				
刺穿强度	0.495*	0.572*			
节间直径	0.644**	0.579*	0.817**		
节间长度	0.445	0.361	0.633**	0.513*	
单位茎长干物质质量	1.000**	0.556*	0.495*	0.644**	0.445

“\*”示相关性显著( $P < 0.05$ ); “\*\*”示相关性极显著( $P < 0.01$ )。

## 4 结论与讨论

有机肥替代化肥通过影响土壤细菌和真菌群落的结构和多样性,促进土壤养分的释放和转化,有利于土壤养分的供给<sup>[20]</sup>。有机肥替代化肥可通过氨化过程缓慢而持续释放矿质氮,并通过复杂的微生物过程协调氨化、硝化和反硝化过程,使土壤可溶性氮处于一定水平,以满足作物正常生长的氮素需求<sup>[21]</sup>。可溶性氮是土壤库中最活跃的组分之一,其转化速率与土壤氮素有效性密切相关,一定程度上反映土壤氮素的供应能力<sup>[22]</sup>。在总氮素供应量相同情况下,有机肥矿化过程产生的无机氮素能够满足作物的生长所需,与单施化肥相比,其茎秆机械力呈现增加的趋势<sup>[23]</sup>。本研究结果显示,有机肥替代化肥氮植株第 3、4、5 节的节间直径、节间干物质质量、压碎强度和抗倒指数呈增加趋势。与前人结果具有一致性。

本研究结果显示,与单施化肥相比,60%有机肥替代化肥氮处理能够使玉米基部第 3 节间的节间长度、节间直径、节间干物质质量、单位茎长干物质质量均有不同程度的提高,抗倒伏效果最好。研究<sup>[18]</sup>表明,20%有机肥替代化肥氮对提高玉米的抗倒伏能力有较好的效果。本研究结果显示,玉米穗粒数、百粒质量、产量与玉米抗倒指数趋势基本保持一致,60%有机肥替代化肥氮处理的抗倒指数最好,产量最高。说明有机肥在提高作物抗倒伏能力和产量方面确有一定的效果,但不同的土壤条件、有机肥类型和作物类型,有机肥替代化肥氮的比例不同。

玉米抗倒伏性与株高、穗位高、节间长相关,与茎粗呈极显著正相关<sup>[24-25]</sup>。基部节间干物质积累量增加,可以使节间单位长度碳水化合物含量和机械强度提高,从而增加茎秆抗倒伏性<sup>[25]</sup>。本研究中,抗倒指数与茎秆直径和单位茎长干物质质量呈极显著正相关,这与边大红等<sup>[25]</sup>和翟娟等<sup>[11]</sup>的研究结

果一致。玉米茎秆倒伏主要发生在地上部第3~5节间,这几节的农艺性状与玉米茎秆抗倒伏性能密切相关<sup>[26-27]</sup>。本试验中,尽管第3~5节的长度增加,但第3~5节间直径、节间干物质质量、单位茎长干物质质量、压碎强度和抗倒指数呈增加趋势,从而提高了茎秆抗倒指数。

### 参考文献:

- [1] 李姝彤,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.
- [2] TRIPATHI P, DUBEY N K. Exploitation of natural products as an alternative strategy to control postharvest fungal rotting of fruit and vegetables[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2004, 32(3): 235-245.
- [3] 王亮,丰光,李妍妍,等.玉米倒伏与植株农艺性状和病虫害发生关系的研究[J].作物杂志,2016(2):83-88.
- [4] 李民华,易永,黄晚华,等.玉米灌浆中后期倒伏风灾指标及对产量的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2021,47(1):9-16.
- [5] 黄建军,赵明,刘娟,等.不同抗倒能力玉米品种物质生产与分配及产量性状研究[J].玉米科学,2009,17(4):82-88.
- [6] 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.
- [7] 杨德光,马德志,于乔乔,等.玉米倒伏的影响因素及抗倒伏性研究进展[J].中国农业大学学报,2020,25(7):28-38.
- [8] TOLLENAAR M, LEE E A. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize[J]. *Field Crops Research*, 2002, 75(2/3): 161-169.
- [9] ZHANG Q, ZHANG L Z, EVERS J, et al. Maize yield and quality in response to plant density and application of a novel plant growth regulator[J]. *Field Crops Research*, 2014, 164: 82-89.
- [10] 高鑫,高聚林,于晓芳,等.高密植对不同类型玉米品种茎秆抗倒特性及产量的影响[J].玉米科学,2012,20(4):69-73.
- [11] 翟娟,薛军,张园梦,等.水肥一体化条件下施氮量对密植春玉米茎秆抗倒伏性状的影响[J].玉米科学,2021,29(5):137-144.
- [12] 张俊,李刚华,宋云攀,等.超级稻Y两优2号在两生态区的抗倒性分析[J].作物学报,2013,39(4):682-692.
- [13] 董学会,段留生,孟繁林,等.30%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.
- [14] 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.
- [15] 蔡永旺,张英华,周顺利,等.利用乙烯利塑造夏玉米凹形冠层对产量及其相关性状的影响[J].玉米科学,2010,18(3):90-94.
- [16] 田晓东,边大红,蔡丽君,等.高密条件下化学调控对夏玉米抗茎倒伏能力的影响[J].华北农学报,2014,29(增刊1):249-254.
- [17] 李少昆,涂华玉,张旺峰.乙烯利对玉米株型和产量的影响及其在生产上的应用[J].耕作与栽培,1991(5):25-28.
- [18] 张占田,徐维华,姜学玲,等.有机肥替代化肥对玉米生长,养分吸收和土壤肥力的影响[J/OL].分子植物育种,[2022-04-22].<https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220421.1638.023.html>.
- [19] 李金才,尹钧,魏凤珍.播种密度对冬小麦茎秆形态特征和抗倒指数的影响[J].作物学报,2005,31(5):662-666.
- [20] 温焯琳,马宜林,周俊学,等.腐熟羊粪有机肥配施无机肥对植烟土壤微生物群落结构和多样性的影响[J].土壤,2023,55(4):804-811.
- [21] 陈香碧,胡亚军,秦红灵,等.稻作系统有机肥替代部分化肥的土壤氮循环特征及增产机制[J].应用生态学报,2020,31(3):1033-1042.
- [22] 王振昌,程鑫鑫,谢毅,等.不同水肥模式对籼稻和粳稻抗倒伏性能的影响[J].农业工程学报,2022,38(9):108-118.
- [23] 杨长明,杨林章,颜廷梅,等.不同养分和水分管理模式对水稻抗倒伏能力的影响[J].应用生态学报,2004,15(4):646-650.
- [24] 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.
- [25] 边大红,刘梦星,牛海峰,等.施氮时期对黄淮海平原夏玉米茎秆发育及倒伏的影响[J].中国农业科学,2017,50(12):2294-2304.
- [26] 程富丽,杜雄,刘梦星,等.玉米倒伏及其对产量的影响[J].玉米科学,2011,19(1):105-108.
- [27] 勾玲,赵明,黄建军,等.玉米茎秆弯曲性能与抗倒能力的研究[J].作物学报,2008,34(4):653-661.

责任编辑:毛友纯  
英文编辑:柳正