

## 氮肥-生长调节剂对寒地春玉米植株形态及产量的互作效应研究

张倩<sup>1</sup> 张明才<sup>1</sup> 刘明<sup>2</sup> 谭伟明<sup>1</sup> 肖佳雷<sup>2</sup> 来永才<sup>2</sup> 李召虎<sup>1</sup> 段留生<sup>1\*</sup>

(1. 中国农业大学 农学与生物技术学院/植物生长调节剂教育部工程研究中心,北京 100193;

2. 黑龙江省农业科学院 耕作栽培研究所,哈尔滨 150086)

**摘要** 氮肥过量使用导致玉米倒伏,限制了玉米产量潜力的发挥,而作物化控技术可以有效解决玉米倒伏,但有关寒地春玉米氮肥与化控技术互作缺乏深入研究。本研究以郑单 958 和先玉 335 为材料,在不同氮肥水平下于玉米拔节初期(七片展开叶)叶面喷施植物生长调节剂 30%己·乙水剂,研究寒地春玉米氮肥与调节剂的互作效应。试验结果表明,随氮肥施用量增加,玉米株高和穗位增高,茎叶夹角和基部第 3 节间长度增大,节间氮积累量增加,而叶面积指数(LAI)、节间直径、碳含量和木质素含量呈先增加后减少趋势,但节间碳氮比和抗折力随施氮量增加有下降趋势。中氮水平(180 kg/hm<sup>2</sup>)改善了玉米冠层结构,促进了产量提高。30%己·乙水剂处理降低了株高和穗位高,减小了茎叶夹角和 LAI,缩短了第 3 节间长,增加了节间直径、碳含量、木质素含量、碳氮比和抗折力,提高了植株的抗倒伏性,产量得到提高。研究结果表明,180 kg/hm<sup>2</sup> 的氮肥施用与 30%己·乙水剂叶面喷施玉米产量最高,株型、群体结构和抗倒力最佳,是寒地春玉米氮肥与化控技术互作的最佳模式。

**关键词** 春玉米;氮肥;化控;产量;抗倒伏

中图分类号 S 513

文章编号 1007-4333(2014)05-0029-09

文献标志码 A

## Interaction of nitrogen fertilizer and plant growth regular on plant morphology and yield in spring maize of cold region

ZHANG Qian<sup>1</sup>, ZHANG Ming-cai<sup>1</sup>, LIU Ming<sup>2</sup>, TAN Wei-ming<sup>1</sup>,

XIAO Jia-lei<sup>2</sup>, LAI Yong-cai<sup>2</sup>, LI Zhao-hu<sup>1</sup>, DUAN Liu-sheng<sup>1\*</sup>

(1. College of Agronomy and Biotechnology/Engineering Research Center of Plant Growth Regulator of Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Institute of Crop Cultivation and Farming, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

**Abstract** Excessive use of nitrogen fertilizer resulte in the lodging of maize, thus limite the potential yield of maize. Plant growth regulator (PGR) can effectively solve the problem of maize lodging. However, previous researches on the interaction between nitrogen and chemical control were lack of deeping study yet in spring maize of cold region. In this study, Zhengdan 958 and Xianyu 335 were used to study the interaction between nitrogen and chemical control in spring maize of cold region. Under different N rates, PGR 30% Hex-ethyl-aqua was applied through foliar at the early jointing stage (seven expanded leaves). Our results showed that plant height, ear height, the angle between the stem and leaf and the length of the 3<sup>rd</sup> basal internode were increased with the increase of nitrogen application. In addition, the results showed a tendency of increase in the leaf area index (LAI), diameter of internode, carbon content and lignin content following decrease with the increase of nitrogen application. However, the ratio of carbon and nitrogen in internode and strength of breaking-resistance were decreased with the increase of nitrogen application. Medium application of nitrogen (180 kg/hm<sup>2</sup>) could improve the structure of canopy and promote yield. The plant height, ear height, leaf angle, LAI and

收稿日期: 2014-03-05

基金项目: 国家“863 计划”项目(2011AA10A206)

第一作者: 张倩, 博士研究生, E-mail: zhangqian1983102@163.com

通讯作者: 段留生, 教授, 主要从事生物调节剂及作用机理研究, E-mail: duanlsh@cau.edu.cn

the length of the 3<sup>rd</sup> basal internode were decreased after treatment with 30% Hex-ethyl-aqua. However, the diameter of internode, carbon content, lignin content, the ratio of carbon and nitrogen in internode and strength of breaking-resistance were increased after treated with PGR. In general, application of Hex-ethyl-aqua could improve the lodging resistance and increase the yield of maize. Overall, our results demonstrated that application of the medium nitrogen (180 kg/hm<sup>2</sup>) with 30% Hex-ethyl-aqua was the optimum cultivation practice in maize of cold region due to the best yield, plant morphology, population structure and lodging resistance force.

**Key words** spring maize; nitrogen fertilizer; chemical control; yield; lodging-resistant

玉米是集粮、经、饲于一身的重要作物,我国的玉米产量已居世界第二<sup>[1]</sup>。截至到2011年,我国玉米耕地面积达到3 300万hm<sup>2</sup>以上,总产量1.9亿t<sup>[2]</sup>。但随耕地面积的日益减少,要保持玉米总产量的持续稳步增加,确保对玉米的刚性需求,提高单产是唯一有效的途径。氮素影响了玉米器官形成、光合作用和干物质积累等,是玉米生长发育和产量形成中重要的营养元素<sup>[3-4]</sup>,也是玉米生产中用量最大的肥料<sup>[5]</sup>。为了提高玉米产量,通常过量地施用氮肥,如Hirel等<sup>[6]</sup>报道,近40年来世界粮食产量翻了一番,氮肥用量增长了7倍。然而无度地施用氮肥不但没有提高玉米单产,反而导致植株徒长,茎秆易折,引起倒伏,不仅降低了玉米籽粒品质,还造成了严重的环境污染<sup>[7-8]</sup>。因此,通过合理有效的栽培措施,有针对性地改善个体与群体的结构质量,进而协调植株的增产潜力和抗倒伏能力,是当前亟待解决的农业问题。

近年来,作物化学控制技术已成为我国粮食高产、稳产、高效栽培的重要组成部分<sup>[9-11]</sup>。有关化控技术与氮肥合理使用已在大麦、小麦等大田作物上展开了大量研究<sup>[12-14]</sup>。Nouriyani等<sup>[12]</sup>研究发现,多效唑能够提高小麦氮吸收量及氮肥利用率,高氮施用提高了小麦产量,但Ramburan等<sup>[13]</sup>报道高氮、乙烯利单独施用均显著降低了大麦产量,二者互动虽降低了倒伏率,但增产作用不显著。有关氮肥与化控技术互作在玉米防倒伏和产量上的研究报道还较少,尤其在北方寒地春玉米种植区。中国农业大学研制的30%己酸二乙氨基乙醇酯·乙烯利调节剂(30%己·乙水剂)在调控玉米抗倒伏方面表现出良好的效果<sup>[11]</sup>,但关于该调节剂与氮肥施用量、玉米品种间的互作研究报道甚少。本研究以玉米品种郑单958和先玉335为材料,在不同氮肥施用水水平下,于玉米拔节初期叶面喷洒30%己·乙水剂,通过比较产量、植株形态结构、节间理化性状等变化,探讨30%己·乙水剂与氮肥之间协调互作对不

同基因型玉米生长发育及抗倒的作用,为构建合理的高效栽培技术提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点概况

本试验在黑龙江省农业科学院国家级农业示范区(哈尔滨市民主乡:45°42'N,126°36'E)进行。试验地前茬作物为大豆,土壤类型为黑土,0~40 cm土层有机质含量为35.7 g/kg、全氮1.5 g/kg、速效钾226.62 mg/kg、速效磷46.6 mg/kg、pH 7.3。试验年(2012)降水、气温变化如图1所示,全年累计降水量740.8 mm,年平均气温4.6 °C,≥10 °C的活动积温3 311.1 °C。

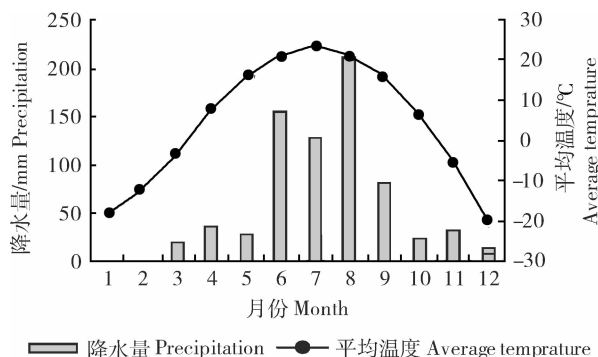


图1 试验区月降雨量与月平均温度

Fig. 1 Month precipitation and average temperature

### 1.2 试验材料与设计

供试玉米品种为郑单958(株型紧凑、中株中穗),先玉335(株型比较紧凑、大株大穗)。于2012年5月1日人工播种,种植密度为75 000株/hm<sup>2</sup>,株距19 cm,每穴3粒;于5月20日(三叶期)定苗;9月28日收获测产。其他田间管理均按当地常规栽培措施进行。

供试化控药剂为30%己酸二乙氨基乙醇酯·乙烯利水剂(30%己·乙水剂)(农药登记号:PD20110264),由中国农业大学化控中心提供。设

2个水平:1)CK,清水对照;2)HK,30%己·乙水剂450 mL/hm<sup>2</sup>。于6月19日玉米七展叶时叶面喷施,每hm<sup>2</sup>兑水450 L。

试验设置3个氮肥(纯氮)施用处理,N1:90 kg/hm<sup>2</sup>,N2:180 kg/hm<sup>2</sup>(当地高产产区施肥量);N3:270 kg/hm<sup>2</sup>,分别代表低、中、高3个水平。分别于播种时、拔节期和开花期以2:2:1比例施用,底肥施用磷酸二铵和尿素,追肥均为尿素。试验采用裂区设计,氮肥量为主区,品种和化控处理为副区,3次重复。每小区15行,行长5.0 m,行距0.7 m,每个小区面积52.5 m<sup>2</sup>。设定每个小区前9行为测产区域,后6行为取样区域。

### 1.3 测定项目与方法

#### 1.3.1 产量及产量构成因素

玉米成熟期每小区取5行4 m长,面积为14 m<sup>2</sup>的全部果穗,记录果穗数作为收获穗数,称取所有鲜果穗重,按平均穗重法取10个果穗进行考种调查(穗长、穗粗、穗粒数),并人工脱粒,称取籽粒重和穗轴重,计算出籽率,用M-8188NEW型谷物水分测定仪(日本KETT)测定籽粒含水量,重复5次,平均后折算成14%含水量的产量。实收产量(kg/hm<sup>2</sup>)=鲜穗重(kg/m<sup>2</sup>)×出籽率(%)×[1-含水率(%)÷(1-14%)。籽粒千粒重(g)=实测千粒重(g)×[1-测定籽粒含水率(%)÷(1-14%)。理论产量(kg/hm<sup>2</sup>)=穗数(穗/hm<sup>2</sup>)×穗粒数(粒/穗)×千粒重(g)

#### 1.3.2 农艺性状

于吐丝期取有代表性的玉米5株,采用长宽系数法,调查单株绿叶面积,计算叶面积指数(LAI);灌浆前期(吐丝后15 d)分别取有代表性的玉米5株,用量角器测叶夹角,用米尺测株高、穗位高,脱去叶鞘测节间长、节间粗。

#### 1.3.3 茎秆理化性状

节间抗折力:灌浆前期取有代表性玉米5株,剥去叶鞘留下茎秆的各节间,利用茎秆强度测试仪(型号:AWOS-SL04)将节间两端固定在仪器下端,推动手柄,传感器显示折断茎秆所用力(N);节间物质成分:将各节间分装,经105℃杀青,再在80℃下烘干24 h,各节间分别称重,经万能高速粉碎机粉碎,待测可溶性糖、淀粉、全氮和纤维物质含量。纤维物质测定采用Van Soest等<sup>[15]</sup>的范氏洗涤法,全氮测

定方法采用半微量凯氏定氮法<sup>[16]</sup>,可溶性糖、淀粉含量测定参照邹琦<sup>[17]</sup>的蒽酮比色法,在625 nm波长下进行比色测定。

### 1.4 数据分析

采用Microsoft Excel 2003进行数据整理计算,用SPSS 17(Chicago,IL,USA)软件进行数据统计分析,用最小显著差数法(LSD)检验平均数,显著水平为 $P<0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 产量及产量构成

如表1所示,两品种间产量无显著性差异;氮肥施用量显著影响玉米的产量,其中中氮水平显著增加玉米产量,与低氮和高氮相比,产量分别提高4.7%和4.5%。化控处理显著增加玉米产量,与对照相比提高5.1%,但品种、化控和氮肥量3因素对产量均无显著的互作作用。

品种、化控和氮肥量对产量构成因素具有显著影响(表1)。单位面积穗数郑单958显著大于先玉335,而穗粒数与千粒重均显著小于先玉335;施氮水平对单位面积穗数和千粒重的影响不显著,而对穗粒数作用显著,中氮处理显著增加穗粒数;化控处理显著增加了穗粒,但对单位面积穗数和千粒重无影响。各因素对产量构成因素无显著互作效应。

### 2.2 植株形态结构变化

如表2所示,郑单958的株高显著低于先玉335,而穗位高前者显著高于后者;氮肥过量施用(270 kg/hm<sup>2</sup>)显著增加了玉米的株高和穗位高;化控处理显著降低了植株高度与穗位高,降低植株重心;另外,品种与氮肥处理对株高有互作效应。品种对茎粗的影响不显著;随着施氮量的增加,茎秆逐渐增粗,中氮量与高氮量无显著性差异;化控处理显著地增加了茎秆直径,各因素间无互作效应。先玉335的茎叶夹角显著大于郑单958;氮肥施用量显著影响茎叶夹角,高氮肥条件下,夹角较大;化控处理对叶夹角无显著影响,但有减小趋势。在玉米吐丝期,品种对LAI的影响不显著;增加氮肥的施用量能够增加植株的LAI,中氮肥量的LAI最高,与低氮处理存在显著差异;化控处理显著降低玉米的LAI,各因素间无互作效应。

表1 不同氮肥水平下化控处理对春玉米产量及其构成因素的影响

Table 1 Effects of chemical control on yield and components of spring maize under different N rates

	处理 Treatment	单位面积	穗粒数/ (粒/穗)	千粒重/g	产量/ (10 <sup>3</sup> kg/hm <sup>2</sup> )	理论产量/ (10 <sup>3</sup> kg/hm <sup>2</sup> )
		穗数/ (穗/m <sup>2</sup> ) Ear number	Kernels	Thousand kernels	Yield	Theory yield
表 1(a) 氮肥水平 N rate	低氮 Low N	7.6 a	605.9 b	319.3 a	10.93 b	14.6 b
	中氮 Middle N	7.6 a	618.3 a	321.6 a	11.45 a	15.2 a
	高氮 High N	7.7 a	608.6 b	317.3 a	10.95 b	14.8 b
化控处理 Chemical control	对照 CK	7.6 a	603.6 b	315.9 a	10.86 b	14.5 a
	化控 HK	7.7 a	618.2 a	322.9 a	11.35 a	15.2 b
品种 Cultivar	郑单 958 ZD 958	7.7 a	606.0 b	315.8 b	10.98 a	14.8 a
	先玉 335 XY 335	7.5 b	615.9 a	323.0 a	11.24 a	14.9 a

F 值 F value

表 1(b) 效应 Effect	Cultivars	22.50**	18.60**	12.32**	2.26 <sup>ns</sup>	1.39 <sup>ns</sup>
	N	1.88 <sup>ns</sup>	10.72**	1.50 <sup>ns</sup>	3.97*	9.16**
	HK	1.83 <sup>ns</sup>	40.61**	5.81*	7.79*	49.20**
	Cultivars * N	1.73 <sup>ns</sup>	2.35 <sup>ns</sup>	0.22 <sup>ns</sup>	0.47 <sup>ns</sup>	0.73 <sup>ns</sup>
	Cultivars * HK	0.82 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>	1.28 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>ns</sup>
	N * HK	0.26 <sup>ns</sup>	2.30 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>ns</sup>	0.36 <sup>ns</sup>	2.16 <sup>ns</sup>
	Cultivars * N * HK	0.06 <sup>ns</sup>	0.29 <sup>ns</sup>	0.11 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>

注:同一列内同一处理因素数据后所带小写字母不同表示在 0.05 水平上差异显著( $n=3$ );表中列出 F 值与差异显著水平 \*\* , $P<0.01$ , \* , $P<0.05$ ,<sup>ns</sup> $P\geq 0.05$ 。下同。

Note: In each factor treatment, different lowercase letters within the same column indicate significantly different at 0.05 probability level ( $n=3$ ); F values and significance levels are given ( \*\*  $P<0.01$ , \*  $P<0.05$  and <sup>ns</sup> $P\geq 0.05$ ). The same as below.

表2 不同氮肥水平下化控处理对春玉米形态的影响

Table 2 Effects of chemical control on morphological of spring maize under different N rates

	处理 Treatment	株高/cm	穗位高/cm	茎粗/mm	叶夹角/(°)	叶面积指数
		Plant height	Ear height	Stem diameter	Leaf angle	LAI
表 2(a) 氮肥水平 N rate	低氮 Low N	309.1 b	116.5 b	19.1 b	19.0 b	6.12 b
	中氮 Middle N	308.4 b	118.4 b	19.5 ab	19.1 ab	6.46 a
	高氮 High N	317.1 a	125.3 a	19.9 a	19.6 a	6.34 ab
化控处理 Chemical control	对照 CK	313.8 a	125.6 a	19.2 b	19.4 a	6.46 a
	化控 HK	309.3 b	114.6 b	19.8 a	19.1 a	6.22 b
品种 Cultivar	郑单 958 ZD 958	292.2 b	125.7 a	19.7 a	16.9 b	6.26 a
	先玉 335 XY 335	330.9 a	114.5 b	19.6 a	21.6 a	6.42 a

F 值 F value

表 2(b) 效应 Effect	Cultivars	629.00**	41.40**	1.54 <sup>ns</sup>	708.00**	1.72 <sup>ns</sup>
	N	13.21**	9.59**	4.99*	3.87*	3.75*
	HK	8.38**	39.90**	8.81**	3.33 <sup>ns</sup>	3.77*
	Cultivars * N	7.34**	0.21 <sup>ns</sup>	0.14 <sup>ns</sup>	0.56 <sup>ns</sup>	0.18 <sup>ns</sup>
	Cultivars * HK	0.34 <sup>ns</sup>	0.31 <sup>ns</sup>	0.89 <sup>ns</sup>	0.06 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>ns</sup>
	N * HK	0.35 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>	0.35 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>ns</sup>	0.07 <sup>ns</sup>
	Cultivars * N * HK	0.51 <sup>ns</sup>	0.27 <sup>ns</sup>	0.67 <sup>ns</sup>	0.00 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>

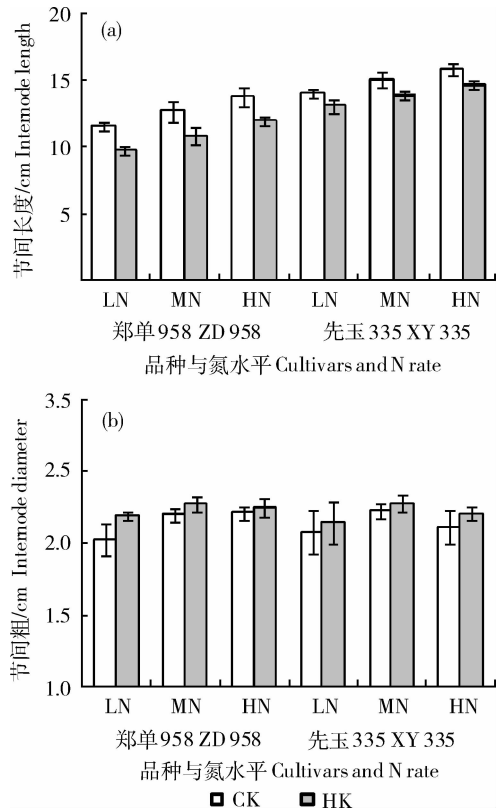
### 2.3 茎秆理化性状

#### 2.3.1 节间形态性状的变化

通常,基部第 3 节间是玉米发生茎折的关键节位。如图 2(a)所示,从品种角度来看,郑单 958 的节间长度小于先玉 335,随着氮肥施用量的增加,节间长度逐渐增大,化控处理缩短了节间长度。统计分析结果为品种、氮肥和化控处理的作用效果均显著( $P < 0.01$ ),同时品种与化控间的互作效果显著( $P < 0.05$ )。郑单 958 的节间直径大于先玉 335,增加氮肥施用量,节间增粗,以中氮水平下的节间最粗,化控处理使第 3 节间直径增大图 2(b)。品种、氮肥和化控作用显著( $P < 0.05$ )。各因素之间无互作效应。

#### 2.3.2 节间物质含量的变化

如表 3 所示,品种间,先玉 335 的节间碳含量显著高于郑单 958,中等氮肥水平显著增加了该节间的碳含量,同时化控处理也显著增加了该节间的碳含量。统计分析表明品种与氮肥、化控与氮肥之间均存在互作效应。节间氮含量的变化趋势与碳含量变化趋势基本一致,只是品种的作用不显著,氮肥不足条件下的节间氮含量最低,适中的氮肥用量显著提高该节间的氮含量,化控处理显著增加氮含量;同时氮肥与品种和化控之间分别存在互作效应。如表 4 所示,节间碳氮比随氮肥量的增加而减小;与对照相比,化控处理提高了节间的碳氮比;2 品种相比,先玉 335 的节间碳氮比较高。



(a)节间长度,(b)节间粗。LN,低氮水平; MN,中氮水平;HN,高氮水平。  
(a)Internode length,(b)Internode diameter.  
LN,low N;MN,Middle N;HN,High N.

图 2 不同氮肥水平下化控处理对茎秆第 3 节间形态的影响

Fig. 2 Effects of chemical control on length and diameter of 3<sup>rd</sup> internode under different N rates

表 3 不同氮肥水平下化控处理对春玉米茎秆第 3 节间物质含量的影响

Table 3 Effects of chemical control on material content in 3<sup>rd</sup> internode of spring maize under different N rates

处理		碳	氮	半纤维素	纤维素	木质素
Treatment		C content	N content	hemicellulose content	Cellulose content	Lignin content
表 3(a) 氮肥水平 N rate	低氮 Low N	26.9 b	0.78 b	20.2 a	32.0 a	5.16 b
	中氮 Middle N	32.1 a	0.94 a	20.6 a	31.8 a	6.26 a
	高氮 High N	25.9 b	0.95 a	20.5 a	31.3 a	5.78 ab
化控处理 Chemical control	对照 CK	26.9 b	0.86 b	20.0 b	31.0 b	5.50 b
	化控 HK	29.7 a	0.90 a	20.9 a	32.5 a	5.96 a
品种 Cultivar	郑单 958 ZD 958	27.4 b	0.88 a	20.6 a	31.7 a	5.70 a
	先玉 335 XY 335	29.3 a	0.88 a	20.3 a	31.8 a	5.76 a
<i>F</i> 值 <i>F</i> value						
表 3(b) 效应 Effect	Cultivars	21.12**	0.69 <sup>ns</sup>	1.06 <sup>ns</sup>	0.17 <sup>ns</sup>	0.16 <sup>ns</sup>
	N	52.50**	48.83**	0.55 <sup>ns</sup>	0.70 <sup>ns</sup>	15.32**
	HK	25.11**	6.98*	9.28**	17.50**	7.88**
	Cultivars * N	7.89**	18.12**	2.42 <sup>ns</sup>	8.75**	33.54**
	Cultivars * HK	2.55 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>ns</sup>
	N * HK	3.73*	5.36**	0.18 <sup>ns</sup>	0.28 <sup>ns</sup>	3.96 <sup>ns</sup>
	Cultivars * N * HK	0.25 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	1.27 <sup>ns</sup>	1.23 <sup>ns</sup>	0.95 <sup>ns</sup>

注:碳含量=可溶性糖含量+淀粉含量

Note:Content of carbon= content of soluble sugar + content of starch

表4 不同氮肥水平下化控处理对两春玉米品种茎秆第3节间碳氮比的调控

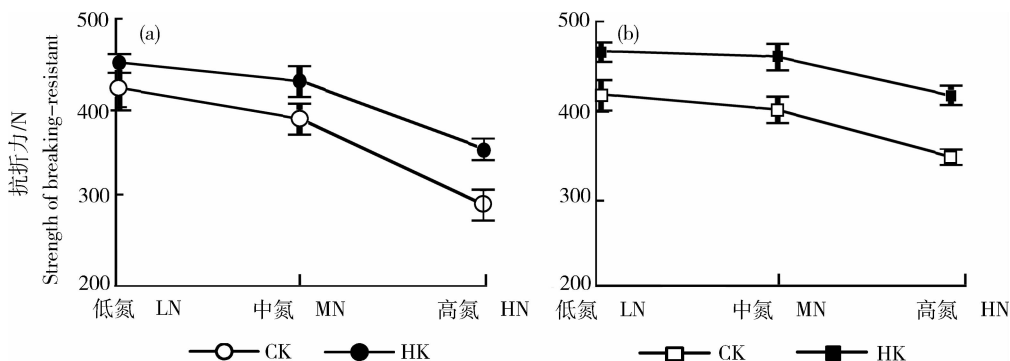
Table 4 Effects of chemical control on C/N in 3<sup>rd</sup> internode of two spring maize under different N rates

氮肥水平 (N rate)	碳氮比 C/N	调节剂 (PGR)	碳氮比 C/N	品种 (Cultivar)	碳氮比 C/N
低氮 Low N	34.49	对照 CK	31.28	郑单 968 ZD 958	31.14
中氮 Middle N	34.15	化控 HK	33.00	先玉 335 XY 335	33.30
高氮 High N	26.98				

如表3所示,氮肥施用量对节间半纤维素和纤维素含量的影响不显著,品种间差异不显著,而氮肥与品种对节间纤维素含量有互作效应,化控处理显著提高这2个指标的含量。适中的氮肥用量提高节间的木质素含量,两品种间木质素含量无显著性差异,氮肥与品种间存在互作效应,化控处理显著增加节间木质素含量。

### 2.3.3 节间折断强度的变化

如图3所示,先玉335的节间抗折力大于郑单958,且两品种的节间抗折力随氮肥施用量的增加而降低,品种和施氮量存在单因素及互作效应。化控处理的第3节间抗折力显著增大,特别是在氮肥过量条件下,处理与对照相比降低了20.7%,氮肥与化控之间无互作效应。



(a)郑单958的抗折力;(b)先玉335的抗折力

Figure (a) is strength of breaking-resistant of ZD 958, figure (b) is strength of breaking-resistant of XY 335

图3 不同氮肥水平下化控处理对茎秆第3节间抗折力的影响

Fig. 3 Effects of chemical control on strength of breaking-resistant of 3<sup>rd</sup> internode under different N rates

## 3 讨论

### 3.1 氮肥与化控处理对玉米抗倒伏机制的影响

有关玉米倒伏的研究已有很多报道,从植株形态来分析,降低穗位高和株高能够抑制玉米倒伏<sup>[18]</sup>。Martin等<sup>[19]</sup>研究表明穗下节间的直径,特别是第3节间粗度与倒伏呈显著负相关。从茎秆生物力学和材料学角度看,茎秆强度与基部节间干物质结构有关。汪黎明等<sup>[20]</sup>报道,茎秆化学物质成分,如纤维素<sup>[21]</sup>、半纤维素和木质素<sup>[22-23]</sup>含量与茎秆的强度有关。Appenzeller等<sup>[21]</sup>证实穗下节间纤维素含量对节间弹性强度有显著影响。

然而本研究中,第3节间的抗折力与纤维素和

木质素含量无线性关系,与氮含量有关,随节间氮的增加而减小,进一步分析得出抗折力的变化趋势与节间碳氮比的变化一致(表4),均是随氮肥量的增加而减小,应用30%己·乙水剂节间碳氮比和抗折力增加,先玉335的碳氮比和抗折力高于郑单958,这与笔者<sup>[24]</sup>之前报道的水稻茎秆强度和茎秆碳氮比正相关的研究结果相符。

施用氮肥是提高玉米产量的主要措施,然而过量施用氮肥不仅会造成资源浪费,还将导致玉米营养生长旺盛,植株高大,茎秆增长,易引起倒伏<sup>[25]</sup>。陈晓光等<sup>[26]</sup>研究报道,高氮下小麦茎秆木质素含量降低,抗折力下降。刘明等<sup>[27]</sup>研究发现玉米倒伏率与茎秆中含氮量呈显著负相关。本试验结果表明,

适中的施氮量(180 kg/hm<sup>2</sup>)与低氮(90 kg/hm<sup>2</sup>)相比显著增加第3节间的碳、氮和木质素含量,但对株高与穗位高的增加效果不显著;而过量施氮(270 kg/hm<sup>2</sup>)显著增加玉米的株高和穗位高,节间长度显著增加,抗折力显著降低,增加了玉米倒伏的风险。

化控栽培技术可以调控作物自身的内源激素系统,改善作物株型和物质分配,在提高作物抗逆等方面具有重要作用。乙烯利在小麦、大麦和玉米等多种作物上具有显著抗倒效果<sup>[13,28-29]</sup>。乙烯利能降低不同基因型玉米的基部伸长节间生长素(IAA)和赤霉素(GA4)含量,显著抑制基部第1至6节间伸长<sup>[30]</sup>。Tripathi等<sup>[28]</sup>研究发现,高氮肥量(300 kg/hm<sup>2</sup>)显著增加小麦倒伏率,但乙烯利处理缩短小麦基部节间,增加基部3个节间壁厚,降低株高,小麦植株未发生倒伏。本试验研究结果表明,30%己·乙水剂缩短玉米基部节间长,增加节间直径,降低植株穗位高,促进基部节间的物质积累和纤维物质含量,增强节间抗折力。另外,该调节剂与氮肥互作对第3节间碳氮含量有显著作用,对株型及抗折力作用均不显著,因此30%己·乙水剂通过调控玉米株型和节间强度等,有效抑制倒伏,从而能够减少中氮(180 kg/hm<sup>2</sup>)下玉米倒伏的发生。

### 3.2 氮肥与化控处理对玉米冠层及产量的影响

冠层结构影响着作物群体的光分布与吸收。评价玉米冠层结构的主要性状指标包括茎叶夹角、LAI、群体光合势(LAD)和株高,其结构功能受栽培措施的调控。叶夹角较小能够增加冠层透光率,增强群体光合能力,同时使株型更紧凑,增强植株耐密性<sup>[31]</sup>。吕丽华等<sup>[3]</sup>认为低中氮下(90或180 kg/hm<sup>2</sup>),穗上叶夹角较小,光合面积较大,吐丝期最大LAI达5.76~6.75,但进一步增加施氮量(270 kg/hm<sup>2</sup>),玉米穗上叶夹角平均增加0.1°~0.2°,成熟期全株LAI降低了0.34。这主要原因是施氮量过高时,叶片生长较为旺盛,使冠层内光照条件变差,致使成熟期叶片提早衰老。有研究表明,合理的冠层结构可以提高玉米灌浆期植株光合能力,有利于高产群体的构建<sup>[32-33]</sup>。玉米是喜氮作物,产量与植株氮素积累量呈极显著的正相关关系,在低氮胁迫下玉米的LAD、LAI和作物光合速率降低,产量受到严重影响<sup>[34]</sup>,然而当施氮量增加到一定水平后,产量不再提高,反而有所下降<sup>[35]</sup>。化肥对作物的增产效应遵循养分报酬递减规律,氮肥效率最高并不与产量最

高同步<sup>[36]</sup>。本研究结果表明,过量施氮使植株的叶夹角增大了0.5°~0.6°,但中氮处理增加了叶面积指数,与低氮和高氮相比增大了0.56和0.19,同时,中氮水平下,玉米的穗粒数和千粒重增加,产量显著提高,与前人的研究一致。

关于植物调节剂对玉米叶片的影响报道较多,但对叶夹角的影响报道较少。在高温或干旱等逆境胁迫下,乙烯利处理后的玉米叶面积显著减小,且与乙烯利浓度呈负相关<sup>[37-38]</sup>。本试验结果表明30%己·乙水剂处理可以减小叶夹角和LAI,这与边大红等<sup>[39]</sup>报道的高密度下局部化控处理与局部非化控处理相比,穗上叶夹角显著变小结果相一致,但与吐丝期到成熟期的LAI显著增大不一致,这主要是由于高密度下玉米LAI较低,而充足的氮素能够显著增加LAI。调节剂应用均改善了玉米冠层结构,协调群体间的光、热、气等微环境,对玉米产量的提高奠定了良好基础,因此应用30%己·乙水剂,玉米穗粒数显著增加,千粒重提高,使得产量显著提高。

黑龙江省是我国主要的玉米生产基地,总产量达到全国的13%<sup>[2]</sup>,该地区属于东北黑土区,土壤有机质含量和肥力均较高。然而该地区全年积温较低,玉米生育期长,植株高度通常比其他地区大,因此不宜密植,单产水平较黄淮海春玉米低。寒地玉米属于雨养农业区种植,产量潜力的发挥与当地降雨量和与施氮肥量有关<sup>[40]</sup>。东北地区的合理施氮量为150~225 kg/hm<sup>2</sup><sup>[41]</sup>,黑龙江省在当前施肥水平下可以通过减少氮肥施用量进而大幅度提高氮肥利用效率<sup>[36]</sup>。本研究的中氮(180 kg/hm<sup>2</sup>)是较为适合当地高产种植的施用量。据报道30%己·乙水剂在华北及黄淮海地区应用能够降低株高,合理调控冠层结构,提高玉米产量<sup>[11,39]</sup>,本试验结果表明该调节剂也能显著提高黑土区的玉米产量,降低植株高度,从而可以提高玉米的耐密性,并通过提高种植密度来进一步提高产量,使得寒地玉米产量潜力的发挥具有较大空间。

## 4 结论

本试验设置了3个氮肥施用量水平,并于玉米拔节初期叶面喷施植物生长调节剂30%己·乙水剂。其中,中等氮肥量(180 kg/hm<sup>2</sup>)下,玉米冠层结构紧凑,株高较低,产量显著提高,发挥了高产潜质。此氮肥下配合施用调节剂,进一步完善了玉米

的冠层结构,减小了茎叶夹角和叶面积指数,塑造合理的群体结构,玉米产量再次提高;同时该调节剂显著降低了株高和穗位高,增加节间长度和粗度,提高单位体积节间的干物质含量和抗折力,有效提高植株的抗倒伏能力。因此,180 kg/hm<sup>2</sup> 氮肥施用配施30%己·乙水剂可以解决玉米产量与倒伏的矛盾,是较好的肥料管理措施。本研究结果为玉米高产高效栽培技术的建立提供了理论依据。

## 参 考 文 献

- [1] Ci X, Li M, Xu J, et al. Trends of grain yield and plant traits in Chinese maize cultivars from the 1950s to the 2000s[J]. *Euphytica*, 2012, 185(3): 395-406
- [2] 中国国家专利局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011
- [3] 吕丽华, 赵明, 赵久然, 等. 不同施氮量下夏玉米冠层结构及光合特性的变化[J]. 中国农业科学, 2008, 41(9): 2624-2632
- [4] 李潮海, 刘奎, 周苏玫, 等. 不同施肥条件下夏玉米光合对生理生态因子的响应[J]. 作物学报, 2002, 28(2): 265-269
- [5] Dyson T. World food trends and prospects to 2025[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1999, 96(11): 5929-5936
- [6] Hirel B, Gouis J L, Ney B, et al. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within intergrated approaches[J]. *J Exp Bot*, 2007, 58(9): 2369-2387
- [7] 赵斌, 董树亭, 张吉旺, 等. 控释肥对夏玉米产量和氮素积累与分配的影响[J]. 作物学报, 2010, 36(10): 1760-1768
- [8] Baligar V C, Fageria N K, He Z L. Nutrient use efficiency in plants[J]. *Cummun Soil Sci Plant Anal*, 2001, 32: 921-950
- [9] Ren X, Zhang L, Du M W, et al. Managing mepiquat chloride and plant density for optimal yield and quality of cotton[J]. *Field Crops Res*, 2013, 149: 1-10
- [10] Zhang M C, Duan L S. Uniconazole-induced tolerance of soybean to water deficit stress in relation to changes in photosynthesis, hormones and antioxidant system[J]. *J Plant Physiol*, 2007, 164(6): 709-717
- [11] 董学会, 段留生, 孟繁林, 等. 30%己·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
- [12] Nouriyani H, Majidi E, Seyyednejad S M. Evaluation of nitrogen use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L) as affected by nitrogen fertilizer and different levels of paclobutrazol[J]. *Res Crop*, 2012, 13(2): 439-445
- [13] Ramburan S, Greenfield P L. Use of ethephon and chlormequat chloride to manage plant height and lodging of irrigated barley (cv *Puma*) when high rates of N-fertilizer are applied[J]. *S Afr J Plant Soil*, 2007, 24(4): 181-187
- [14] Mohammadi H, Ahmadi A, Yang J C, et al. Effects of nitrogen and ABA application on basal and distal kernel Weight of wheat[J]. *J Agr Sci Tech*, 2013, 15(5): 889-900
- [15] Van Soest P J, Robertson J B, Lewis B A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition[J]. *J Dairy Sci*, 1991, 74(10): 3583-3597
- [16] 李酉开. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1983: 79, 272
- [17] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 农业出版社, 2000: 111-114
- [18] 丰光, 黄长岭, 邢锦丰. 玉米抗倒伏的研究进展[J]. 作物杂志, 2008, 4: 12-14
- [19] Martin G C, Russell W A. Response of a maize synthetic to recurrent selection for stalk quality[J]. *Crop Sci*, 1984, 24(2): 331-337
- [20] 汪黎明, 姚国旗, 穆春华, 等. 玉米抗倒伏的遗传研究进展[J]. 玉米科学, 2011, 19(4): 1-4
- [21] Appenzeller L, Doblin M, Barreiro R, et al. Cellulose synthesis in maize: Isolation and expression analysis of the cellulose synthase (Cesa) gene family[J]. *Cellulose*, 2004, 11: 287-299
- [22] Dakora F D, Nelwamondo A. Silicon nutrition promotes root growth and tissue mechanical strength in symbiotic cowpea[J]. *Funct Plant Biol*, 2003, 30(9): 947-953
- [23] Xiang D B, Yu X B, Wan Y. Responses of soybean lodging and lodging-related traits to potassium under shading by maize in relay strip intercropping system[J]. *Afr J Agr Res*, 2013, 49(8): 6499-6508
- [24] 张倩, 张明才, 张海燕, 等. 30%矮·烯微乳剂对水稻茎秆理化特性的调控[J]. 作物学报, 2013, 39(6): 1089-1095
- [25] 丰光, 景希强, 李妍妍, 等. 玉米茎秆性状与倒伏性的相关和通径分析[J]. 华北农学报, 2010, 25(增刊): 72-74
- [26] 陈晓光, 石玉华, 王成雨, 等. 氮肥和多效唑对小麦茎秆木质素合成的影响及其与抗倒伏性的关系[J]. 中国农业科学, 2011, 44(17): 3529-3526
- [27] 刘明, 齐华, 张卫建, 等. 深松方式与施氮量对玉米茎秆解剖结构及倒伏的影响[J]. 玉米科学, 2013, 21(1): 57-63
- [28] Tripathi S C, Sayre K D, Kaul J N, et al. Growth and morphology of spring wheat (*Triticum aestivum* L) culms and their association with lodging: Effects of genotypes, N levels and ethephon[J]. *Field Crops Res*, 2003, 84(3): 271-290
- [29] Dahnous K, Vigue G T, Law A G, et al. Height and yield response of selected wheat, barley, and triticale cultivars to ethephon[J]. *Agron J*, 1982, 74(3): 580-582
- [30] 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
- [31] Westgate M E, Forcella F, Reicosky D C, et al. Rapid canopy closure for maize production in the northern US corn belt: Radiation-use efficiency and grain yield[J]. *Filed Crops Res*, 1997, 49: 249-258



- [32] 董树亭,高荣歧,胡昌浩,等.玉米花粒期群体光合性能与高产潜力研究[J].作物学报,1997,23(3):318-325
- [33] 张旺锋,王振林,余松烈,等.膜下滴灌对新疆高产棉花群体光合作用冠层结构和产量形成的影响[J].中国农业科学,2002,35(6):632-637
- [34] Uhart S A, Andrade F H. Nitrogen deficiency in maize. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set[J]. Crop Sci, 1995, 35(5):1376-1383
- [35] 杨恩琼,黄建国,何腾兵,等.氮肥用量对普通玉米产量和营养品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(3):509-513
- [36] 钱春荣,于洋,宫秀杰,等.黑龙江省不同年代玉米杂交种氮肥利用效率对种植密度和施氮水平的响应[J].作物学报,2012,38(11):2069-2077
- [37] Shekoofa A, Emam Y. Plant growth regulator (ethephon) alters maize (*Zea mays* L) growth, water use and grain yield under water stress[J]. J Agron, 2008, 7(1):41-48
- [38] Cicchino M A, Rattalino E J I, Otegui M E. Maize physiological responses to heat stress and hormonal plant growth regulators related to ethylene metabolism[J]. Crop Sci, 2013, 53(5):2135-2146
- [39] 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
- [40] 赵京考,卢静,谷思雨,等.降雨量和氮素对黑土区春玉米产量的影响[J].农业工程学报,2011,27(12):74-78
- [41] 彭畅,刘晓斌,尹彩侠,等.不同形态氮肥及其运筹对春玉米产量和农艺性状的影响[J].核农学报,2013,27(4):0509-0514

责任编辑：袁文业